



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISA NUMERIK PENGARUH DESAIN *INTAKE CHAMBER* TERHADAP POLA ALIRAN FLUIDA PADA *COOLING WATER INTAKE* PLTGU GRATI DENGAN VARIASI PASANG SURUT**

**FEBRIAN TEGAR WICAKSANA**

**NRP. 04311340000024**

**Dosen Pembimbing :**

**Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D**

**Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2019**



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**NUMERICAL ANALYSIS OF INTAKE CHAMBER  
DESIGN ON FLUID FLOW PATTERN AT COOLING  
WATER INTAKE PLTGU GRATI WITH TIDE  
VARIATION**

**FEBRIAN TEGAR WICAKSANA**

**NRP. 04311340000024**

**Supervisors :**

**Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D**

**Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**Marine Technology Faculty**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2019**

**ANALISA NUMERIK PENGARUH DESAIN *INTAKE*  
*CHAMBER* TERHADAP POLA ALIRAN FLUIDA PADA  
*COOLING WATER INTAKE* PLTGU GRATI DENGAN  
VARIASI PASANG SURUT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FEBRIAN TEGAR WICAKSANA**

NRP. 04311340000024

Disetujui oleh:

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Drs. Mahmud Mustain., M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)

4. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. (Penguji 2)



SURABAYA, JANUARI 2019

**ANALISA NUMERIK PENGARUH DESAIN *INTAKE*  
CHAMBER TERHADAP POLA ALIRAN FLUIDA PADA  
COOLING WATER INTAKE PLTGU GRATI DENGAN  
VARIASI PASANG SURUT**

**Nama Mahasiswa : Febrian Tegar Wicaksana**  
**NRP : 04311340000024**  
**Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D**  
**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**IKHTISAR PENELITIAN**

Berbagai penelitian menunjukkan pola dari aliran yang menuju pompa dapat berpengaruh secara signifikan terhadap munculnya formasi vorteks pada permukaan maupun bawah permukaan air. Melalui pemodelan, karakteristik hidrolis dari aliran fluida dapat diketahui. Pola aliran yang terbentuk kemudian diidentifikasi melalui serangkaian percobaan. Pengujian fluida dengan pola aliran tertentu dilakukan dengan disertai pengukuran karakteristik hidrolis. Melalui percobaan tersebut maka pola aliran yang terbentuk, akibat interaksi fluida dengan struktur, yang merugikan kinerja pompa pada kanal *intake* dapat diketahui. Selanjutnya, upaya mempertahankan performa hidrolis dapat dilakukan. Dengan metode numerik, analisa karakteristik hidrolis dapat dilakukan menggunakan simulasi komputasi dinamika fluida (CFD) untuk menunjang rekayasa struktur sehingga dihasilkan desain yang dapat menunjang performa pompa pada kanal *intake*. Pada penelitian ini, penulis tertarik untuk mengetahui pengaruh desain kanal *intake* terhadap pola aliran fluida. Dengan melakukan variasi terhadap jenis anti vorteks yang digunakan serta ketinggian elevasi air, penulis ingin mengetahui pengaruh berbagai variabel tersebut terhadap pembentukan aliran non uniform.

Kata kunci : *cooling water intake*, vorteks, CFD



***NUMERICAL ANALYSIS OF INTAKE CHAMBER DESIGN  
INFLUENCE TO FLUID FLOW PATTERN AT COOLING  
WATER INTAKE PLTGU GRATI WITH TIDE VARIATION***

**Name of Student** : Febrian Tegar Wicaksana  
**Reg. Number** : 04311340000024  
**Department** : Department of Ocean Engineering, Marine  
Technology Faculty, ITS  
**Supervisors** : Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D  
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

***ABSTRACT***

*Various studies show that the pattern of flow can significantly influence the appearance of vortex around the pump. Through numerical modeling, the hydraulic characteristics can be known, then the flow pattern identified through a series of experiments. Through these experiments, the flow pattern that was formed, due to fluid interactions with the structure, which is affecting pump performance can be known. Furthermore, maintaining hydraulic performance can be carried out. With the numerical method, hydraulic characteristics analysis can be carried out using computational fluid dynamics simulation (CFD) to support structural engineering so that designs can support the performance of pump at intake channel. In this study, the authors are interested to know the effect of channel intake design on the pattern of fluid flow. By doing variations on the type of anti vorteks and water elevation, the author wants to know the effect of these various variables on the formation of non uniform flow.*

*Key word: cooling water intake, vortex, CFD*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbi 'alamin penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul “Analisa Numerik Pengaruh Desain *Intake Chamber* Terhadap Pola Aliran Fluida pada *Cooling water intake* PLTGU Grati dengan Variasi Pasang Surut”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang analisa pola aliran pada *cooling water intake* dengan variasi desain peranti anti vorteks serta kedalaman air menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD) sehingga diperoleh kerentanan desain terhadap formasi vorteks dan aliran tidak seragam lainnya yang mungkin terbentuk.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga, diperlukan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata semoga penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 23 Januari 2019

Febrian Tegar Wicaksana

---

NRP. 04311340000024

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sesungguhnya dalam kehidupan tidak mungkin manusia berjuang sendiri tanpa dukungan sosial dari kawan maupun keluarga, demikian pula dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada Ibu tercinta yang tidak pernah lelah berdoa mendukung penulis hingga menempuh pendidikan tinggi. Kepada Almarhum Bapak yang nasihatnya senantiasa membimbing penulis hingga dewasa. Dan kepada Adik tersayang semoga langkah sukses turut menyertaimu.
2. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku pembimbing pertama serta Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua yang selalu memberikan saran dan dukungan kepada penulis. Juga kepada Bapak Ir. Imam Rochani M.Sc selaku dosen wali yang senantiasa membimbing penulis dalam menempuh kegiatan akademik.
3. Kepada seluruh dosen Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas selama perkuliahan. Juga kepada segenap karyawan yang telah membantu selama kegiatan akademik.
4. Kepada rekan-rekan Teknik Kelautan ITS yang membantu dan memberikan dukungan serta kepada mbak Puspa dan mbak Titis yang turut membantu penulis dalam berbagai diskusi. Juga kepada rekan Tugas Akhir, Taufiq Wibawa Muslim atas kerjasama selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Kepada sahabat-sahabat DA 12 juga kepada Ratna Tiara Kurnia Astari dan Muhammad Richa atas berbagai dukungan yang selalu diberikan. Semoga persahabatan dapat terus terjalin hingga akhir hayat.

Kepada berbagai pihak yang belum sempat penulis ucapkan satu-persatu, terima kasih atas berbagai bantuan dan dukungan yang diberikan. Semoga Allah SWT melimpahkan berkat dan rahmat kepada kita semua.

## DAFTAR ISI

<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>IKHTISAR PENELITIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	12
2.2.1 Komputasi Dinamika Fluida Menggunakan Autodesk CFD.....	12
2.2.2 Aliran <i>Laminar</i> dan Turbulensi .....	14
2.2.3 Aliran <i>Steady</i> dan Aliran <i>Transient</i> .....	15
2.2.4 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> .....	15
2.2.5 Aliran Rotasional .....	16
2.2.6 Persamaan Umum Aliran Fluida .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Metode Penelitian.....	21
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	23
3.2.1 Studi Literatur.....	23
3.2.2 Pengumpulan Data.....	23

3.2.3 Pembuatan Model AutoCad 3D.....	23
3.2.4 <i>Pre-processing</i> .....	23
3.2.5 <i>Processing</i> .....	27
3.2.5 <i>Post-processing</i> .....	27
3.2.6 Pembuatan Laporan .....	30
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Lokasi Objek Studi .....	31
4.2 Data Gambar dan Kondisi Operasi Kanal <i>Intake</i> .....	31
4.3 Model Tiga Dimensi Kanal <i>Intake</i> .....	34
4.4 Skenario Simulasi Kanal <i>Intake</i> .....	36
4.5 Hasil Simulasi Pola Aliran Kanal <i>Intake</i> .....	36
4.5.1 Skenario 1: Kanal <i>Intake</i> Non AVD Elevasi 4.67 m (LLWL) .....	37
4.5.2 Skenario 2: Kanal <i>Intake</i> AVD 1 Elevasi 4.67 m (LLWL) .....	38
4.5.3 Skenario 3: Kanal <i>Intake</i> AVD 2 Elevasi 4.67 m (LLWL) .....	39
4.5.4 Skenario 4: Kanal <i>Intake</i> Non AVD Elevasi 6.67 m (MSL) .....	40
4.5.5 Skenario 5: Kanal <i>Intake</i> AVD 1 Elevasi 6.67 m (MSL) .....	42
4.5.6 Skenario 6: Kanal <i>Intake</i> AVD 2 Elevasi 6.67 m (MSL) .....	43
4.5.7 Skenario 7: Kanal <i>Intake</i> Non AVD Elevasi 8.67 m (HHWL) .....	44
4.5.8 Skenario 8: Kanal <i>Intake</i> AVD 1 Elevasi 8.67 m (HHWL) .....	45
4.5.9 Skenario 9: Kanal <i>Intake</i> AVD 2 Elevasi 8.67 m (HHWL) .....	47
4.6 Model Tiga Dimensi Kanal <i>Intake</i> .....	48
4.7 Skenario Simulasi Kanal <i>Intake</i> .....	52
4.8 Hasil Simulasi Pola Aliran Kanal <i>Intake</i> .....	53
4.8.1 Pengaruh Desain Anti Vorteks Elevasi 4.67 m (LLWL).....	53
4.8.2 Pengaruh Desain Anti Vorteks Elevasi 6.67 m (MSL) .....	55
4.8.3 Pengaruh Desain Anti Vorteks Elevasi 8.67 m (HHWL).....	57
4.9 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap <i>Surface</i> dan <i>Sub-surface</i> Vorteks dengan <i>Particle Tracing</i> .....	59
4.9.1 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap <i>Surface</i> Vorteks .....	60
4.9.2 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap <i>Sub-surface</i> Vorteks .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan.....	69

5.2 Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	
<b>LAMPIRAN D</b>	
<b>LAMPIRAN E</b>	



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.2</b> Perbedaan Aliran <i>Laminar</i> dan Aliran Turbulensi .....	15
<b>Gambar 2.4</b> Ilustrasi vorteks di permukaan air berdasarkan tingkat kekuatan ....	17
<b>Gambar 2.5</b> Ilustrasi <i>sub surface vortice</i> berdasarkan tingkat kekuatan .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	22
<b>Gambar 3.2</b> Pengaturan <i>Material</i> Pada Model .....	24
<b>Gambar 3.3</b> Pengaturan <i>boundary</i> pada model .....	25
<b>Gambar 3.4</b> Pengaturan <i>mesh size</i> pada model.....	25
<b>Gambar 3.5</b> Teknik penyajian tampilan visual tampak atas dan lokasi pengambilan data kecepatan .....	27
<b>Gambar 3.6</b> Teknik penyajian tampilan visual tampak depan .....	28
<b>Gambar 3.7</b> Teknik penyajian tampilan visual tampak samping .....	28
<b>Gambar 3.8</b> Teknik penyajian garfik <i>y-direction</i> .....	29
<b>Gambar 3.9</b> Teknik penyajian garfik <i>x-direction</i> .....	30
<b>Gambar 3.10</b> Teknik penyajian tampilan visual <i>particle tracing</i> .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Lokasi objek studi .....	31
<b>Gambar 4.2</b> Geometri struktur <i>intake</i> tampak atas .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Geometri struktur <i>intake</i> tampak samping .....	32
<b>Gambar 4.4</b> Bentuk geometri <i>stop log</i> , <i>claw screen</i> dan <i>revolving screen</i> tampak samping dan depan.....	33
<b>Gambar 4.5</b> Bentuk geometri sekitar <i>pompa</i> .....	33
<b>Gambar 4.6</b> Tampilan model tiga dimensi <i>cooling water intake</i> PLTGU Grati ...	34
<b>Gambar 4.7</b> Tampilan model tiga dimensi pada bagian <i>vertical pump</i> .....	35
<b>Gambar 4.8</b> Perbedaan variasi geometri pada peranti anti vorteks .....	35
<b>Gambar 4.9</b> Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL non AVD .....	37
<b>Gambar 4.10</b> Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL non AVD .....	38
<b>Gambar 4.11</b> Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL AVD 1.....	38
<b>Gambar 4.12</b> Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL AVD 1 .....	39
<b>Gambar 4.13</b> Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL AVD 2.....	40
<b>Gambar 4.14</b> Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL AVD 2.....	40
<b>Gambar 4.15</b> Distribusi kecepatan kanal skenario MSL non AVD .....	41

<b>Gambar 4.16</b> Distribusi vortisitas kanal skenario MSL non AVD .....	41
<b>Gambar 4.17</b> Distribusi kecepatan kanal skenario MSL AVD 1 .....	42
<b>Gambar 4.18</b> Distribusi vortisitas kanal skenario MSL AVD 1 .....	43
<b>Gambar 4.19</b> Distribusi kecepatan kanal skenario MSL AVD 2 .....	43
<b>Gambar 4.20</b> Distribusi vortisitas kanal skenario MSL AVD 2 .....	44
<b>Gambar 4.21</b> Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL non AVD .....	45
<b>Gambar 4.22</b> Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL non AVD .....	45
<b>Gambar 4.23</b> Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL AVD 1 .....	46
<b>Gambar 4.24</b> Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL AVD 1 .....	46
<b>Gambar 4.25</b> Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL AVD 2 .....	47
<b>Gambar 4.26</b> Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL AVD 2 .....	47
<b>Gambar 4.27</b> Grafik rata-rata kecepatan dengan elevasi ukur pada 0 d .....	49
<b>Gambar 4.28</b> Grafik rata-rata kecepatan dengan elevasi ukur pada 0.5 d .....	49
<b>Gambar 4.29</b> Grafik rata-rata kecepatan 2 cm di bawah <i>inlet bell</i> .....	50
<b>Gambar 4.30</b> Grafik rata-rata vortisitas dengan elevasi ukur pada 0 d .....	51
<b>Gambar 4.31</b> Grafik rata-rata vortisitas dengan elevasi ukur pada 0.5 d .....	51
<b>Gambar 4.32</b> Grafik rata-rata vortisitas pada 2 cm di bawah <i>inlet bell</i> .....	52
<b>Gambar 4.33</b> Grafik rata-rata kecepatan pada <i>inlet bell</i> .....	53
<b>Gambar 4.34</b> Grafik kecepatan LLWL pada x-direction .....	54
<b>Gambar 4.35</b> Grafik vortisitas LLWL pada x-direction .....	54
<b>Gambar 4.36</b> Grafik kecepatan LLWL pada y-direction .....	55
<b>Gambar 4.37</b> Grafik vortisitas LLWL pada y-direction .....	55
<b>Gambar 4.38</b> Grafik kecepatan MSL pada x-direction .....	56
<b>Gambar 4.39</b> Grafik vortisitas MSL pada x-direction .....	56
<b>Gambar 4.40</b> Grafik kecepatan MSL pada y-direction .....	57
<b>Gambar 4.41</b> Grafik vortisitas MSL pada y-direction .....	57
<b>Gambar 4.42</b> Grafik kecepatan HHWL pada x-direction .....	58
<b>Gambar 4.43</b> Grafik vortisitas HHWL pada x-direction .....	58
<b>Gambar 4.44</b> Grafik kecepatan HHWL pada y-direction .....	59
<b>Gambar 4.45</b> Grafik vortisitas HHWL pada y-direction .....	59
<b>Gambar 4.46</b> Hasil <i>surface particle tracing</i> LLWL .....	60
<b>Gambar 4.47</b> Hasil <i>surface particle tracing</i> MSL pada model .....	61

<b>Gambar 4.48</b> Hasil <i>surface particle tracing</i> HHWL pada model .....	61
<b>Gambar 4.49</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> LLWL Non AVD .....	62
<b>Gambar 4.50</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> LLWL AVD 1 .....	62
<b>Gambar 4.51</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> LLWL AVD 2 .....	63
<b>Gambar 4.52</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> LLWL tampak diagonal .....	63
<b>Gambar 4.53</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> MSL Non AVD .....	64
<b>Gambar 4.54</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> MSL AVD 1 .....	64
<b>Gambar 4.55</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> MSL AVD 2 .....	65
<b>Gambar 4.56</b> Hasil <i>particle tracing</i> MSL tampak diagonal .....	65
<b>Gambar 4.57</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> HHWL Non AVD .....	66
<b>Gambar 4.58</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> HHWL Non AVD .....	66
<b>Gambar 4.59</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> HHWL Non AVD .....	67
<b>Gambar 4.60</b> Hasil <i>sub surface particle tracing</i> HHWL .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Setting</i> Parameter pada <i>Automatic Mesh</i> .....26
Tabel 4.1	Detail Skenario Simulasi Komputasi Dinamika Fluida .....36
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengukuran Kecepatan dan Vortisitas ...48

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Berbagai penelitian dilakukan untuk mengetahui pola aliran yang terbentuk akibat interaksi fluida terhadap struktur *cooling water intake* dengan parameter geometri tertentu. Johansson, et al., (2005) berpendapat bahwa pola aliran yang menuju pompa dapat berpengaruh secara signifikan terhadap munculnya formasi vorteks pada permukaan maupun bawah permukaan air. Dengan model numerik Kim, et al., (2012) menjelaskan upaya prediksi karakteristik hidrolis seperti kecepatan, arah dan distribusi aliran dapat dengan mudah dilakukan. Perihal tersebut sebagai upaya mengatasi berbagai hambatan yang sering terjadi dalam percobaan model fisik. Selanjutnya, model numerik menggunakan simulasi komputasi dinamika fluida (CFD) dapat digunakan untuk menunjang rekayasa struktur sehingga dihasilkan desain yang dapat menunjang kinerja pompa.

*Cooling water intake* merupakan bagian penting dari sebuah *cooling system* pada pembangkit listrik, dimana air diambil dari sumbernya dengan menggunakan pompa. Operasional pompa berkesinambungan sehingga aspek perawatan dan pengkondisian diperlukan untuk menjaga kinerja pompa. Constantinescu dan Patel (1998) menjelaskan bahwa gangguan kinerja pada pompa dapat terjadi akibat adanya getaran sedangkan kerusakan pada bagian *impeller* terjadi karena fenomena kavitasi dan beban *bearing* yang besar yang berkaitan erat dengan adanya karakteristik aliran yang tidak diinginkan akibat desain kanal *intake* yang buruk dan ketidaksesuaian kedalaman *pump bell*. Sehingga sesuai dengan ANSI/HI (1998) selain dari desain pompa, pengkondisian desain *cooling water intake* juga dimaksudkan untuk mencegah timbulnya pola aliran fluida yang bisa menimbulkan gangguan terhadap kinerja pompa. Berbagai pola aliran yang perlu dicegah diantaranya adalah vorteks, formasi putaran air (*swirl*) serta terhisapnya gelembung-gelembung udara ke dalam pompa.

Constantinescu dan Patel (1998) menjelaskan bahwa kedalaman *pump bell* yang terlalu rendah dapat mengakibatkan terhisapnya gelembung-gelembung udara ke dalam pompa (*air entraining free surface vortices*) yang secara signifikan



mempengaruhi medan aliran serta memicu timbulnya kavitasi. Selain itu menurutnya, ketidaksesuaian bentuk geometri kanal dekat *pump bell* juga memberikan pengaruh. Johansson, et al. (2005) menambahkan bahwa ketidaksesuaian jarak dinding dan dasar kanal terhadap pompa dapat menyebabkan pemisahan aliran yang memicu terjadinya vorteks di bawah permukaan air. Apabila tekanan turun sampai melewati titik jenuh maka dapat timbul gejala kavitasi sebagaimana dikemukakan oleh Suyanto dan Sutardi (2006) yakni timbulnya gelembung-gelembung uap yang kemudian pecah, terkait kondisi tersebut faktor kenaikan suhu aliran dan kecepatan aliran ikut serta mempengaruhi proses yang terjadi.

Upaya mengatasi pola aliran vorteks pada *cooling water intake* telah banyak dilakukan dalam berbagai penelitian. Abir et. al. (2008) meneliti pola aliran fluida dengan melakukan variasi konfigurasi geometris untuk mengetahui akibat yang timbul dari adanya perubahan kedalaman serta ketebalan pompa. Hasil yang didapat diketahui bahwa berkurangnya kedalaman *pump bell* berpengaruh terhadap kecepatan vorteks yang semakin meningkat. Kemudian selain pengaruh parameter geometris pada kanal *intake* berbagai penelitian terkait peranti anti vorteks juga berkembang. Pengujian efektifitas peranti anti vorteks dilakukan untuk mengukur besar pengaruh yang ditimbulkan terhadap pola aliran.

Penelitian terkait peranti anti vorteks telah dilakukan oleh Nakato (1990) dalam penelitiannya dengan melakukan pengujian fisik terhadap efektifitas dari beberapa peranti anti vorteks. Peranti yang diuji adalah *flow turning vanes*, *vertical baffle block*, *floor corner fillets*, *floor splitter* dan *back wall splitter*. Penelitian untuk menguji efektifitas peranti anti vorteks juga dilakukan oleh Kim .et .al (2012) dengan pengujian fisik dan numerik menggunakan simulasi komputasi dinamika fluida. Peranti yang diuji yakni *back wall fillet*, *side wall fillet* serta *center splitter*. Pada penelitian Nakato (1990) serta Kim .et .al (2012) didapatkan hasil bahwa peranti anti vorteks memiliki pengaruh yang signifikan untuk mengurangi terbentuknya pola aliran yang tidak seragam.

Pada *cooling water intake* PLTGU Grati, berdasarkan data gambar teknik diketahui bahwa peranti anti vorteks yang dipakai adalah *cone floor*, *corner fillet* dan *back wall splitter*. Setidaknya ada 9 jenis desain peranti anti vorteks yang

diketahui sebagaimana tercantum dalam *American Nasional Standart for Pump Intake Design*. Namun tidak dijelaskan secara detail perbedaan pengaruh yang timbul dari setiap desain yang ada terhadap pola aliran pada kanal *intake*. Oleh karenanya, dalam Tugas Akhir ini penulis tertarik untuk meneliti pengaruh desain peranti anti vorteks terhadap pola aliran pada kanal *intake*. Desain peranti anti vorteks yang dipilih untuk diteliti adalah desain yang telah dipakai pada kanal *intake* PLTGU Grati. Desain tersebut kemudian penulis bandingkan dengan jenis lain merujuk pada *American Nasional Standart for Pump Intake Design*. Penyelesaian dilakukan dengan simulasi komputasi dinamika fluida (CFD) dengan memberlakukan variasi kedalaman air.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pemilihan desain *intake chamber* terhadap pola aliran fluida di *cooling water intake* ?
2. Bagaimana kerentanan desain yang diteliti terhadap adanya vorteks pada permukaan dan di bawah permukaan air yang mungkin timbul akibat variasi pasang surut ?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh desain *intake chamber* terhadap pola aliran fluida.
2. Mengetahui kerentanan desain terhadap vorteks pada permukaan dan di bawah permukaan air yang mungkin timbul akibat adanya variasi pasang surut.

## **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat yang didapat pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat diketahui pengaruh desain *intake chamber* terhadap pola aliran fluida serta pengaruhnya dalam mencegah adanya *surface* dan *sub surface vortices* pada ketinggian pasang surut tertentu.

2. Sebagai pertimbangan dalam bidang rekayasa teknik dalam mengatasi fenomena hidrolika pada *cooling water intake* agar tercapai efisiensi yang diinginkan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan yang hendak diselesaikan dalam Tugas Akhir ini, maka dalam sub bab ini dijelaskan berbagai batasan masalah yang digunakan yaitu:

1. Struktur yang dianalisa pada studi kasus ini adalah struktur *cooling water intake* PLTGU Grati.
2. Bagian struktur yang divariasi adalah peranti anti vorteks yang terletak di dalam *cooling water intake* PLTGU Grati sesuai dengan rekomendasi ANSI/HI *for Pump Intake Desig*.
3. Karakteristik fluida yang divariasi adalah ketinggian pasang surut pada *cooling water intake* PLTGU Grati.
4. Debit dan desain pompa menyesuaikan data dari PLTGU Grati.
5. Untuk mengoptimalkan teknik *meshing* serta menyesuaikan kemampuan komputer yang tersedia, bagian struktur yang dianalisa hanyalah satu kanal pada bagian dekat pompa sehingga pengaruh *screen water* dan peranti lainnya pada bagian depan kanal diabaikan.
6. Simulasi dilakukan dengan permukaan air datar dan tegangan permukaan diabaikan (*non free surface*).

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dimulai dari Bab I (satu) sebagai pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan. Memberikan uraian rumusan masalah yang hendak diselesaikan dan tujuan yang hendak dicapai dalam proses penelitian serta menguraikan. Serta menjelaskan manfaat yang akan diperoleh dari pelaksanaan penelitian. Dalam bab tersebut juga dijelaskan mengenai batasan masalah yang diberikan untuk memberikan ruang lingkup yang jelas selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir.

Pada Bab II (dua) terdapat tinjauan pustaka yakni berupa telaah singkat mengenai berbagai penelitian sebelumnya pada topik yang berkaitan terkait analisa numerik *cooling water intake* serta penggunaan teknik komputasi dinamika fluida (CFD). Pada Bab II (dua) juga dijelaskan dasar teori yang dipakai dalam penyelesaian rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini. Kesemuanya berfungsi sebagai referensi pendukung bagi penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Referensi tersebut didapatkan melalui publikasi penelitian baik lokal maupun internasional.

Pada Bab III (tiga) yakni metodologi penelitian menjelaskan mengenai alur penelitian yang dilakukan sehingga terdapat gambaran jelas tahapan yang perlu dilakukan dan juga sebagai acuan penulis untuk tetap berjalan pada arah yang tepat. Alur pengerjaan digambarkan secara sistematis dalam bentuk diagram alur. Pada setiap tahapan metode penelitian dijelaskan secara detail proses yang dilalui sehingga dapat diketahui bagaimana penelitian Tugas Akhir ini dilakukan.

Pada Bab IV (empat) berisi penjelasan terkait proses analisa dan pembahasan hasil yang didapat. Penjelasan berisi analisa data awal dan skenario simulasi komputasi yang dijalankan. Kemudian pada setiap parameter yang di analisa dijabarkan perolehan hasil dari tiap skenario sehingga terlihat perbedaan hasil dari setiap skenario yang diuji coba baik dengan penjelasan deskriptif maupun dengan tabel dan grafik yang mendukung. Parameter yang dianalisa yakni pola aliran yang direpresentasikan dengan distribusi kecepatan dan vortisitas. Kemudian untuk mengetahui pengaruh geometri terhadap aliran yang menuju pompa dijelaskan dengan grafik kecepatan dan vortisitas pada tiap titik lokasi secara melintang dan membujur pada kanal. Untuk mengetahui apakah variasi desain dan kedalaman air mempengaruhi terbentuknya vorteks di lakukan analisa secara visual dengan teknik *particle tracing*.

Pada Bab V (lima) dijelaskan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian Tugas Akhir. Selain itu juga dijelaskan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian di masa depan. Pada bagian terakhir adalah daftar pustaka yang menguraikan berbagai informasi dan dokumen tertulis yang digunakan oleh penulis sebagai referensi untuk mendukung penyelesaian Tugas Akhir ini.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**  
**DAN DASAR TEORI**



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian terkait pola aliran fluida telah mengalami perkembangan yang cukup lama. Nakato (1990) melakukan eksperimen model fisik untuk mengevaluasi kinerja hidrolis *pump intake* dan *discharge flume* dengan skala model 1:10. Operasional model disesuaikan dengan hukum kesamaan Froude. Pengujian awal dilakukan untuk melihat kondisi terburuk yang terjadi pada model dan diketahui bahwa terbentuk aliran tidak seragam menuju pompa, terjadi vorteks pada permukaan dan bawah permukaan air yakni pada lantai dasar serta tembok samping dan belakang pompa. Upaya perbaikan pola aliran dilakukan dengan menguji beberapa alat seperti : *flow turning device*, *vertical baffle blocks* sebagai upaya mengurangi aliran tidak seragam yang menuju pompa. Hasil yang diperoleh *flow turning device* kurang berdampak signifikan bila dibandingkan *vertical baffle blocks*.

Upaya perbaikan pola aliran terhadap vorteks di bawah permukaan air juga dilakukan dengan vorteks *splitters*, *floor corner fillets* dan *backwall splitter*. Kombinasi dengan ukuran geometri yang tepat pada percobaan mampu membuat pola aliran di bawah permukaan air yang menuju pompa menjadi lebih halus dan menghilangkan vorteks yang sebelumnya terjadi pada area tersebut. Selanjutnya untuk menghilangkan vorteks di permukaan air yang disertai gelembung udara, *horizontal grating* dipasang diatas *pump bell*. Hasil percobaan menunjukan pemasangan *grating* mampu mencegah vorteks di permukaan air hingga elevasi air tertentu. Pada percobaan yang dilakukan Nakato, juga dilakukan pengukuran *head loss* sehingga diketahui bahwa bentuk geometri pada kanal sangat berpengaruh dengan *head loss* yang terjadi pada pompa.

Constantinescu dan Patel (1998) melakukan penelitian model numerik untuk mensimulasikan aliran pada kanal *intake* serta vorteks. Model yang dibuat merupakan konfigurasi kanal *intake* yang disederhanakan dengan pipa silinder serta kanal panjang berbentuk balok. Model disimulasikan dengan asumsi permukaan air datar dan tegangan permukaan diabaikan. Persamaan RANS (momentum) dan

kontinuitas di ekspresikan dalam bentuk umum koordinat *curvilinear*. Model persamaan *two layer k - ε* diadopsi untuk mengakomodasi perhitungan pada bagian yang berbatasan dengan *solid wall*.

Untuk meningkatkan stabilitas simulasi akibat tingginya *cell aspect ratio* pada model persamaan yang dipakai, maka persamaan momentum dan model turbulensi diselesaikan secara *implicit* dengan metode ADI (*Alternating Directing Implicit*). Hasil simulasi memperlihatkan bahwa model CFD mampu memprediksi aliran dan secara detail mengidentifikasi lokasi, ukuran dan kekuatan dari pembentukan vorteks. Model turbulensi *two layer k - ε* teruji cukup baik dalam mencapai konvergensi. Namun prediksi yang dihasilkan perlu untuk diverifikasi dengan eksperimen model fisik.

Pada kesempatan berikutnya Constantinescu dan Patel (1998) juga melakukan penelitian terkait fenomena vorteks di permukaan dan bawah permukaan air dengan simulasi numerik menggunakan model persamaan *near wall turbulence*. Metode numerik yang dibuat untuk menyelesaikan persamaan tiga dimensi *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) dalam bentuk umum koordinat *curvilinear* dengan algoritma *fully-implicit fractional-step*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model persamaan *near wall turbulence* cukup baik mensimulasikan kondisi aliran yang terjadi.

Rajendran et. al. (1998) melakukan studi dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari perhitungan numerik dengan uji model fisik pada *pump sump*. Model fisik yang dibuat sengaja dilengkapi berbagai bentuk geometri yang memungkinkan terjadinya vorteks. Pada pengujian model fisik ini digunakan *particle image velocimetry* untuk membantu mendapatkan hasil perhitungan. Sedangkan pada model numerik dibuat berdasarkan persamaan Reynolds yang telah dibagi dengan persamaan Navier-Stokes. Dalam studi ini didapatkan hasil yakni sebuah vorteks di permukaan air berhasil diprediksi namun memiliki perbedaan ukuran serta kekuatan. Selain itu dijelaskan bahwa bentuk dari vorteks yang berkelok kelok menjadi hambatan dalam penyelesaian numerik. Namun perhitungan dengan metode tersebut cukup membantu untuk mengetahui lokasi dimana vorteks akan terjadi.

Okamura et. al. (2007) melaksanakan studi numerik pada *pump sump* dalam basis numerik dengan beberapa program CFD untuk dibandingkan dengan model fisik. Hasil yang diperoleh, diketahui bahwa formasi vorteks yang terbentuk dengan pusaran udara didalamnya bersifat *unsteady*. Adanya vorteks di atas permukaan air bila disertai dengan kondisi kedalaman *intake bell* yang rendah dapat mengakibatkan terjadinya vorteks dibawah permukaan air yang merugikan bagi kinerja pompa. Hasil yang diperoleh Okamura melalui perhitungan model numerik terdapat kecocokan dengan eksperimen model fisik meskipun besarnya hasil kurang memadai dan hanya sekedar mencukupi secara kualitatif.

Abir et. al. (2008) meneliti pola aliran fluida dengan melakukan variasi konfigurasi geometris untuk mengetahui akibat yang timbul dari adanya perubahan kedalaman serta ketebalan pompa. Hasil yang didapat diketahui bahwa berkurangnya kedalaman *intake* pompa berpengaruh terhadap kecepatan vorteks yang semakin meningkat. Selain itu pada pemodelan dengan kedalaman *intake* yang rendah disimpulkan bahwa penggunaan model turbulensi  $k - \omega$  memberikan hasil yang lebih baik daripada model  $k - \varepsilon$ .

Blaszczuk et. al. (2012) melakukan perhitungan numerik yang yang divalidasi dengan observasi dan pengukuran melalui model fisik. Perhitungan secara numerik diperlukan untuk mengetahui pola aliran *unsteady* akibat adanya variasi struktur penghalang pada *suction intake* yang dimodelkan. Komputasi dengan model *SST Turbulensi* didapatkan prediksi vorteks yang sesuai dengan pengamatan pada model fisik. Variasi struktur penghalang menunjukan hasil bahwa adanya struktur tersebut mampu mengurangi besarnya vorteks yang terjadi. Sesuai dengan pembagian kelas vorteks menurut *American National Standard for Pump Intake Design*, pada struktur tanpa penghalang vorteks yang terjadi memiliki kelas 3 – 4 . Sedangkan pada struktur yang disertai penghalang, besar vorteks yang terjadi memiliki kelas 1 – 2.

Zhan et. Al. (2012) melakukan penelitian dengan membentuk model numerik 3 dimensi dari *intake* pada pompa berdasarkan atas persamaan Navier-Stokes dengan model turbulensi  $k - \varepsilon$  yang dinormalisasi (*RNG  $k - \varepsilon$  turbulence model*) dan serta metode VOF (*Volume Of Fluid*) untuk mendapatkan hasil simulasi dari kondisi permukaan air. Penelitian disertai dengan lima tipe sistem kanal *intake*

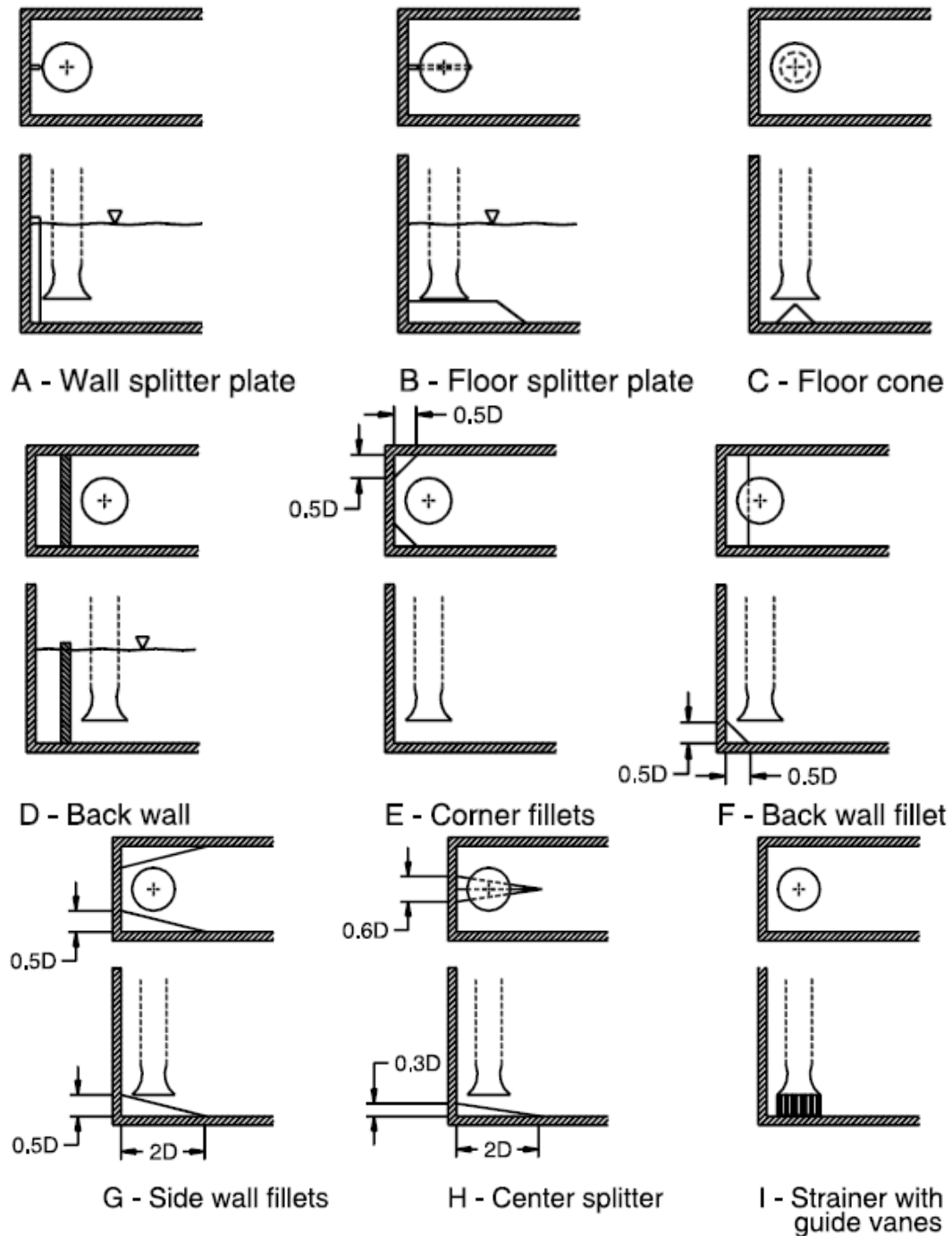
yang memberikan hasil bahwa kinerja pompa sangat dipengaruhi oleh pola aliran akibat terbentuknya vorteks dekat sudut *inlet channel* dan *intake bay*.

Aybar (2012) melakukan komputasi pemodelan terhadap aliran *free surface* pada struktur *intake* dari sebuah bendungan. Pada penelitiannya upaya menambah kedalaman pompa sulit dilakukan akibat kondisi topografi sehingga digunakan struktur anti vorteks. Tawade dan Maurya (2015) melakukan penelitian dengan memvariasikan kedalaman *intake* pompa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola aliran. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa semakin dangkal lokasi *intake* pompa maka semakin kuat pula intensitas vorteks yang timbul. Sehingga pengaturan kedalaman *inlet bell* pompa direkomendasikan untuk mengurangi timbulnya vorteks yang mengganggu kinerja pompa.

Usaha untuk mengurangi timbulnya vorteks pada *cooling water intake* mengalami perkembangan yang beragam. Selain dilakukan penelitian terkait pengaruh parameter geometris struktur *intake* dan desain pompa, usaha menangkal munculnya vorteks juga dilakukan dengan serangkaian uji coba peranti anti vorteks. Nakato (1990) dalam penelitiannya dilakukan pengujian fisik terhadap efektifitas dari beberapa peranti anti vorteks. Peranti yang diuji adalah *flow turning vanes*, *vertical baffle block*, *floor corner fillets*, *floor splitter* dan *back wall splitter*. Hasil percobaan menunjukan bahwa *flow turning vanes* kurang efektif dalam mencegah aliran tidak seragam. Sedangkan *back wall splitter*, *floor corner fillets*, *floor splitter* dan *back wall splitter* menunjukan hasil yang cukup signifikan. *Side wall corner fillets* dan *back wall splitter* secara efektif dapat mencegah vorteks yang terjadi di bawah permukaan air. Sedangkan *horizontal grating* mampu mencegah vorteks permukaan air.

Penelitian untuk menguji efektifitas peranti anti vorteks juga dilakukan oleh Kim .et .al (2012) dengan pengujian fisik dan numerik menggunakan simulasi komputasi dinamika fluida. Peranti yang diuji yakni *back wall fillet*, *side wall fillet* serta *center splitter*. Dalam penelitian tersebut, struktur *intake* diuji dalam beberapa skenario kedalaman air serta membandingkan hasil penelitian tersebut pada kondisi ketika *intake* menggunakan serta tidak menggunakan peranti anti vorteks. Hasil penelitian menunjukan ketika *intake* tanpa disertai peranti anti vorteks diketahui terdapat vorteks yang terbentuk disekitar pompa. Namun ketika digunakan peranti

anti vorteks, hasil yang didapat menunjukan bahwa besarnya vorteks yang terbentuk dan aliran tidak seragam berkurang. Selain itu didapatkan juga hasil yang menunjukan bahwa penggunaan peranti anti vorteks mempengaruhi peningkatan efisiensi pompa.



**Gambar 2.1** Desain peranti anti vorteks

(sumber : ANSI/HI, 1998)

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Komputasi Dinamika Fluida Menggunakan Autodesk CFD

Menurut Kevin W. Linfield dan Robert G. Mudry (2008) sebab perkembangan pesat komputasi dinamika fluida (CFD) akibat adanya perkembangan teknologi komputasi pada tahun 1970-an, sehingga industri kedirgantaraan memimpin jalan dalam mengembangkan peranti lunak untuk memperkirakan solusi atas persamaan aliran fluida yang rumit di sekitar pesawat udara dan wahana ruang angkasa. Selama beberapa dekade terakhir, peranti lunak ini telah maju ke titik di mana solusi akurat dapat diperoleh untuk aliran yang kompleks, termasuk transfer panas, pelacakan partikel, dan reaksi kimia. Menurut Kevin W. Linfield dan Robert G. Mudry juga menjelaskan tahapan simulasi CFD yang dimulai dengan membagi model tiga dimensi yang sebelumnya di buat dengan peranti lunak CAD kedalam sistem *grid*. Pada sistem *grid* tersebut di tiap sellnya mensimulasikan fungsi material yang ada apakah diidentifikasi sebagai benda padat (solid) ataupun fluida. Peranti lunak kemudian mensimulasikan solusi atas berbagai persamaan fluida (konservasi massa, momentum dan energi) pada setiap sell di dalam sistem grid yang terbentuk.

Kevin W. Linfield dan Robert G. Mudry (2008) juga menjelaskan terkait keuntungan dan kelemahan penggunaan CFD dibandingkan dengan pengujian model fisik. Dalam hal geometri, peranti lunak CFD mampu mensimulasikan bentuk rumit dalam skala penuh dengan lebih mudah. Peranti lunak CFD juga unggul dalam pengambilan dan visualisasi hasil sehingga berbagai faktor perilaku fluida dapat diketahui. Meskipun untuk aliran *transient*, model CFD masih memiliki keterbatasan sehingga hanya mampu memberikan prediksi berdasarkan parameter yang mendukung terjadinya fenomena pada aliran yang bergantung terhadap waktu. Selain itu untuk mendapatkan hasil yang optimal diperlukan kapasitas dan keandalan komputer yang mencukupi.

Versteeg dan Malalasekera (2007) didalam bukunya menjelaskan bahwa pada proses penyelesaian, CFD memiliki *coding* yang terstruktur bersama dengan *algorithm* numerik yang mampu memecahkan masalah berkaitan aliran fluida. Setiap paket CFD komersil selalu dilengkapi teknologi tatap muka terhadap pengguna sehingga memudahkan dalam melakukan input parameter masalah serta



menyajikan hasil simulasi. Dari semua *coding* yang ada di dalam CFD dapat didefinisikan menjadi tiga bagian: *pre processing*, *solving*, *post processing*.

Versteeg dan Malalasekera (2007) juga menjelaskan terkait *Pre processing* merupakan tahap yang terdiri atas aktifitas pengaturan berbagai parameter terkait masalah yang akan diselesaikan pada peranti lunak CFD. Aktifitas tersebut meliputi:

- a. Definisi terhadap geometri dari area model yang diinginkan, atau bisa disebut sebagai *domain* komputasi.
- b. *Grid generation*, yakni pembagian dari domain menjadi bagian-bagian kecil serupa sel yang terpisah (*non overlapping*). Aktifitas ini dapat pula disebut *meshing*, merujuk pada kata *mesh* yang memiliki arti kata sama dengan *grid*.
- c. Melakukan seleksi terhadap fenomena fisik dan kimiawi yang diperlukan dalam melakukan simulasi model.
- d. Melakukan definisi terhadap properti fluida.
- e. Melakukan spesifikasi kondisi batas terhadap model.

Solusi atas masalah aliran didefinisikan pada setiap node yang terletak di setiap sel pada domain model. Sehingga akurasi penyelesaian bergantung pada jumlah sel yang ada pada grid.

Menurut Versteeg dan Malalasekera (2007) pemodelan numerik memiliki tiga arus utama dalam metode penyelesaian yakni *finite element*, *finite volume* dan metode *spectra*. Komputasi dinamika fluida (CFD) merupakan bentuk dari *finite volume method*. Secara garis besar *algorithm* numerik pada CFD terdiri atas :

- a. Integrasi atas berbagai persamaan aliran fluida pada semua *finite volume* dari domain.
- b. *Discretisation*, yakni konversi persamaan integral ke persamaan aljabar.
- c. Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

Pada langkah pertama, yakni adanya integrasi pada *control volume* menjadi pembeda *finite volume method* terhadap teknik CFD lainnya. Hasil simulasi mengekspresikan konservasi yang terjadi atas properti fluida pada setiap *finite size cell*. Hal ini menjelaskan keterkaitan antara *algorithm* numerik dan bentuk prinsip konservasi fisik yang mendasarinya. Hal tersebut merupakan salah satu hal yang

menarik dari *finite volume method* dan membuat konsep tersebut lebih sederhana untuk dimengerti oleh *engineers* daripada *finite element* dan metode *spektral*.

Versteeg dan Malalasekera (2007) mengungkapkan bahwa terdapat banyak upaya untuk meningkatkan tampilan grafis, perkembangan tersebut utamanya mengambil bagian pada langkah *post processing*. Dengan meningkatnya popularitas, peranti lunak CFD kini dilengkapi dengan alat bantu untuk visualisasi data. Hal tersebut terdiri dari :

- a. Tampilan *domain* geometri dan *grid*.
- b. Tampilan plot berbentuk *vector*.
- c. Tampilan plot berbentuk kontur.
- d. Tampilan plot dua dan tiga dimensi.
- e. Tampilan jejak partikel.
- f. Dan lain sebagainya.

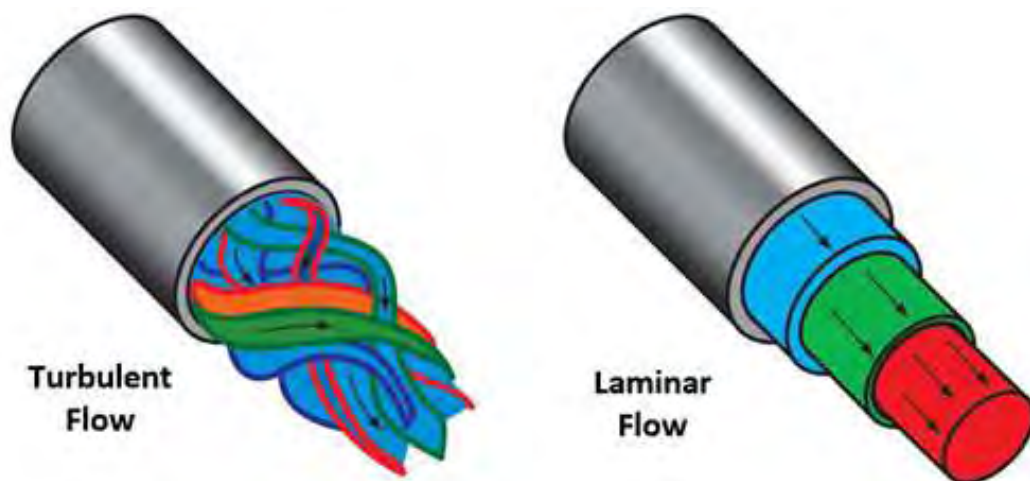
Perkembangan selanjutnya visualisasi data juga dilengkapi dengan bantuan animasi untuk sajian hasil yang dinamis, dan selain sajian grafis, semua kode menghasilkan keluaran alfanumerik yang terpercaya dan memiliki fasilitas ekspor data untuk manipulasi lebih lanjut di luar kode dasar yang dihasilkan.

### 2.2.2 Aliran *Laminar* dan *Turbulensi*

Pada teorema mekanika fluida, dilihat dari pola yang terbentuk aliran dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni aliran *laminar* dan aliran *turbulensi*. Dalam bukunya Liu (1998) menjelaskan perbedaan kedua jenis aliran tersebut. Aliran *laminar* terjadi pada fluida yang mengalir dengan kecepatan rendah. Aliran *laminar* di gambarkan sebagai lapisan aliran yang mengalir secara halus dan teratur tanpa ada partikel yang bercampur secara makroskopik. Sedangkan aliran *turbulensi* terjadi disebabkan ketidakstabilan pola aliran yang kemudian memicu terjadinya vorteks. Untuk mengetahui jenis aliran diantara keduanya, selain melalui pengamatan visual sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.2 juga dapat menggunakan parameter tidak berdimensi yakni dengan angka Reynold yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (2.8)$$

Pada persamaan tersebut,  $\rho$  menunjukkan massa jenis,  $V$  menunjukkan kecepatan aliran dan  $\mu$  menunjukkan viskositas. Untuk angka Reynold dengan besar lebih dari 2500 maka dapat disimpulkan bahwa terjadi turbulensi pada aliran tersebut. Pada batas diantara lapisan aliran *turbulensi* dan *laminar* terdapat zona transisi dimana partikel mengalir secara non linier sebelum akhirnya terbentuk menjadi aliran *turbulensi* secara sempurna. Karakteristik dari zona transisi yang tidak stabil menjadikan aliran pada kondisi tersebut sulit untuk diprediksi secara numerik.



**Gambar 2.2** Perbedaan Aliran *Laminar* dan Aliran Turbulensi  
(sumber: <https://www.smartflow-usa.com/turbulensi-flow-rate-calculator/images/turbulensi-flow.jpg>)

### 2.2.3 Aliran *Steady* dan Aliran *Transient*

Sebagaimana diketahui bahwa didalam fluida yang mengalir memiliki berbagai parameter berdimensi yang dapat diukur seperti kecepatan, massa jenis, tekanan dan lain sebagainya. Dikarenakan kondisi aliran, berbagai parameter tersebut dapat berubah terhadap waktu. Kondisi demikian merupakan sifat aliran *transient* atau bisa juga disebut sebagai aliran *unsteady*. Sedangkan yang dimaksud aliran *steady* adalah ketika parameter berdimensi seperti kecepatan, tekanan, massa jenis dan lain sebagainya bernilai tetap terhadap waktu.

### 2.2.4 Aliran *Compressible* dan *Incompressible*

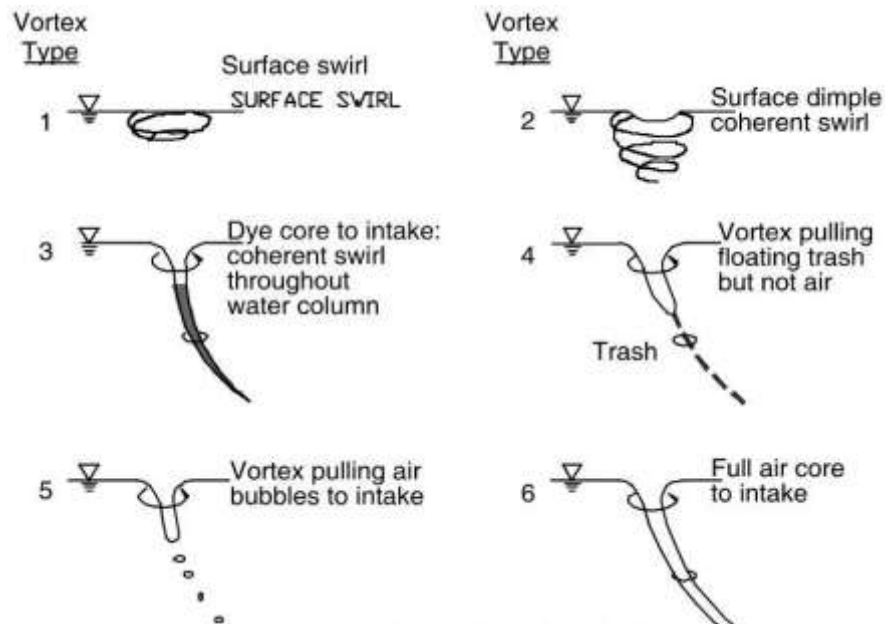
Kondisi lingkungan sangat berpengaruh terhadap sifat dari aliran fluida. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh faktor alam maupun akibat rekayasa teknik.

Pada umumnya aliran zat cair cenderung bersifat *incompressible* dan zat gas bersifat *compressible*. Namun sifat tersebut dapat berubah dengan dilakukannya rekayasa teknik oleh manusia. Aliran zat cair pada peranti hidrolik misalnya ketika diberlakukan tekanan tinggi akibat kinerja mesin, maka aliran cenderung bersifat *compressible*. Begitu juga dengan gas yang cenderung bersifat *incompressible* apabila perubahan tekanan yang terjadi bernilai kecil dan cenderung diabaikan.

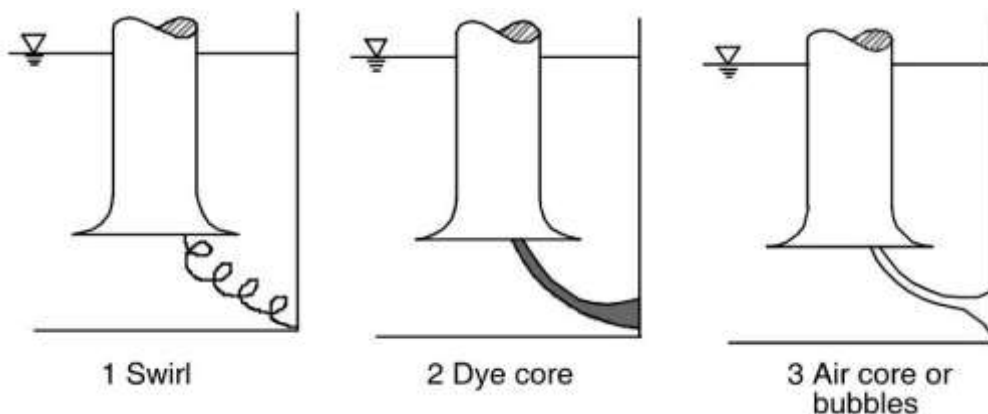
### 2.2.5 Aliran Rotasional

*American Standart for Pump Intake Design*, ANSI/HI (1998) menjelaskan bahwa pada fluida yang mengalir, kondisi geometri kanal dapat mempengaruhi bentuk pola aliran. Bentuk tersebut dibedakan menjadi dua jenis, rotasional dan irotasional. Pada kanal *intake* aliran rotasional ini dapat berbentuk vorteks, putaran air (*swirl*) dan juga pusaran air disertai udara (*air core vortex*). Constantinescu dan Patel (1998) menjelaskan bahwa kehadiran aliran rotasional pada kanal *intake* cenderung meugikan sehingga berbagai upaya dilakukan sebagai langkah meminimalkan pengaruh yang ditimbulkan. Vorteks dan *swirl* membuat aliran fluida menjadi tidak efisien, pada tingkat kekuatan tertentu timbul getaran dan dapat menyebabkan kerusakan.

Berdasarkan *American Standart for Pump Intake Design*, ANSI/HI (1998) dijelaskan bahwa terdapat dua jenis aliran rotasional berdasarkan tempat terbentuknya. Jenis tersebut kemudian terbagi lagi menurut tingkat kekuatannya. Vorteks dapat terjadi pada dua tempat yakni pada permukaan air serta bawah permukaan air. *Surface* vorteks terjadi pada permukaan air. Biasanya disebabkan oleh kedalaman pompa yang kurang terpenuhi. Bentuk *pump sump* tanpa *skirt* memperbesar resiko terjadinya *surface vortice*. Debit pompa juga berpengaruh terhadap timbulnya aliran ini. Sedangkan vorteks pada bawah permukaan air disebut *sub surface* vorteks. Terjadi akibat pemisahan aliran pada sisi pompa yang berbatasan dengan tembok kanal *intake*. Geometri dan luas permukaan dinding kanal berpengaruh terhadap aliran ini. Upaya meminimalkan aliran ini dapat dilakukan dengan memasang peranti anti vorteks pada dinding di sekitar *pump sump*.



**Gambar 2.4** Ilustrasi vorteks di permukaan air berdasarkan tingkat kekuatan  
(Sumber: ANSI/HI, 1998)



**Gambar 2.5** Ilustrasi *sub surface vortice* berdasarkan tingkat kekuatan  
(Sumber: ANSI/HI, 1998)

### 2.2.6 Persamaan Umum Aliran Fluida

Aliran turbulensi pada fluida dengan kekentalan tertentu dengan massa jenis selalu konstan dapat di deskripsikan dengan persamaan Navier-Stokes yang bersamaan dengan persamaan kontinuitas membentuk suatu sistem yang lengkap untuk dapat menentukan tekanan serta kecepatan aliran dari fluida pada area tertentu. Sistem perhitungan dengan rata-rata waktu kemudian diuraikan oleh

Reynolds dan terbentuklah formula dasar atas mekanika fluida (Blaszczyk, et al., 2012).

### 2.2.6.1 Persamaan momentum Navier-Stokes

Pada pemodelan aliran fluida serta transfer panas, pada peranti lunak Autodesk CFD persamaan yang dipakai adalah persamaan Navier-Stokes atau persamaan momentum serta hukum pertama termodinamika atau persamaan energi. Penyusunan persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan momentum sumbu x :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.10)$$

Persamaan momentum sumbu y :

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2\mu \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.11)$$

Persamaan momentum sumbu z :

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ 2\mu \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.12)$$

Pada persamaan momentum terdapat dua persamaan asal yakni koordinat rotasi serta persamaan distribusi resistensi yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$S_{DR} = - \left( K_i + \frac{f}{D_H} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C\mu V_i \quad (2.13)$$

untuk persamaan distribusi resistensi,

$$S_\omega = -2\rho\omega_i \times V_i - \rho\omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (2.14)$$

untuk persamaan rotasi aliran.

Untuk jenis aliran *incompressible* persamaan energi pada kondisi suhu statis adalah sebagai berikut :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho C_p v \frac{\partial T}{\partial y} + \rho C_p w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_v \quad (2.15)$$

Untuk geometri axisimetri dan *steady state* dengan komponen kecepatan *swirl*, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial}{\partial r} (r \rho u_r) + \frac{\partial}{\partial z} (r \rho v_z) = 0 \quad (2.16)$$

Persamaan momentum R

$$\rho u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \rho v_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{\rho \omega_\theta^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu \frac{\partial u_r}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \frac{\partial u_r}{\partial z} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial u_r}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \frac{\partial v_z}{\partial r} \right] - \frac{2 \mu v_r}{r^2} + S_\omega + S_{DR} \quad (2.17)$$

Persamaan momentum z

$$\rho u_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \rho v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu \frac{\partial v_z}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial u_r}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] + S_{DR} \quad (2.18)$$

Persamaan kecepatan *swirl*

$$\rho u_r \frac{\partial \omega_\theta}{\partial r} + \rho v_z \frac{\partial \omega_\theta}{\partial z} + \frac{\rho u_r \omega_\theta}{r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu \frac{\partial \omega_\theta}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \frac{\partial \omega_\theta}{\partial z} \right] - \frac{\omega_\theta}{r} \frac{\partial \mu}{\partial r} - \frac{\mu \omega_\theta}{r^2} + S_{DR} + S_\omega \quad (2.19)$$

### 2.2.6.2 Persamaan Turbulensi

Persamaan kontinuitas tiga dimensi, Navier-Stokes dan persamaan energi dapat diaplikasikan terhadap aliran *laminar* maupun aliran turbulensi. Namun, dikarenakan tidak terbatasnya waktu dan skala panjang yang terdapat dalam aliran turbulensi, penyelesaian atas persamaan tersebut membutuhkan *finite element* yang sangat banyak meski terhadap model yang sederhana. Pada peranti lunak Autodesk CFD dalam simulasi aliran turbulen, penulisan persamaan momentum disertai dengan persamaan Reynold *stress*, sehingga persamaan momentum pada tiap sumbu menjadi seperti berikut.

Persamaan momentum sumbu x :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2 \mu \frac{\partial u}{\partial x} - \rho u u \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \rho u v \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \rho u w \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.20)$$

Persamaan momentum sumbu y :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \rho uv \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2\mu \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \rho vv \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \rho vw \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.21)$$

Persamaan momentum sumbu z :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \rho uw \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \rho vw \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ 2\mu \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \rho ww \right] + S_\omega + S_{DR} \quad (2.22)$$

Persamaan Energi

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho C_p v \frac{\partial T}{\partial y} + \rho C_p w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} - \rho C_p u T \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k \frac{\partial T}{\partial y} - \rho C_p v T \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k \frac{\partial T}{\partial z} - \rho C_p w T \right] + q_v \quad (2.23)$$

Persamaan eddy viscositas

$$\mu_t = \frac{-\rho uu}{2 \frac{\partial U}{\partial x}} = \frac{-\rho uv}{\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}} = \frac{-\rho vw}{\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y}} \quad (2.24)$$

Persamaan eddy konduktivitas

$$k_t = \frac{-\rho C_p ut}{\frac{\partial T}{\partial x}} = \frac{-\rho C_p vt}{\frac{\partial T}{\partial y}} = \frac{-\rho C_p wt}{\frac{\partial T}{\partial z}} \quad (2.25)$$



# **BAB III**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

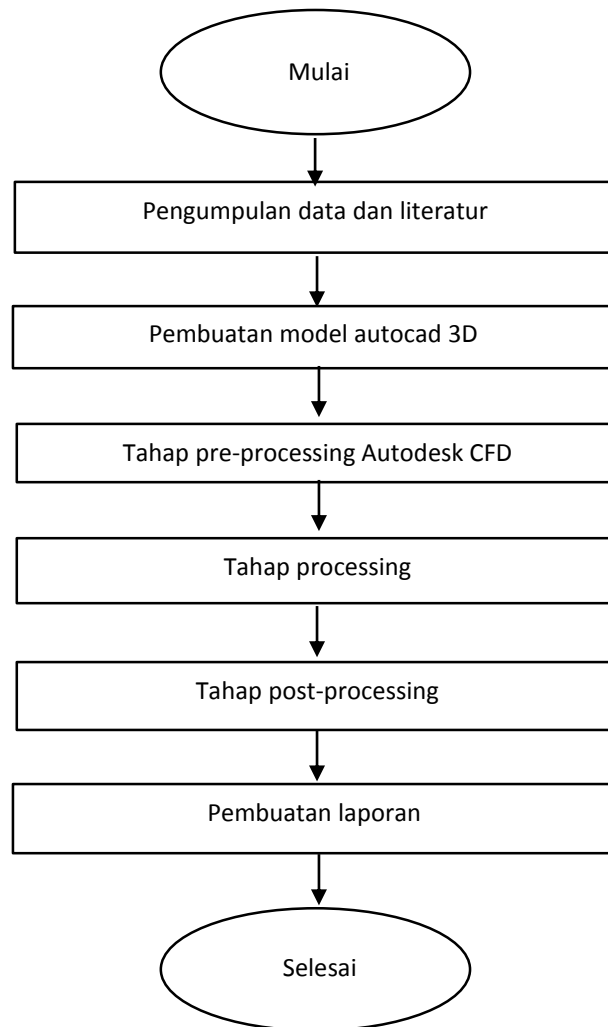
Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis melakukan serangkaian tahapan yang terangkum dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1. Tahapan tersebut dilakukan dengan fungsi dan tujuan yakni:

- a. Pengumpulan data dan literatur. Pada tahapan ini dibutuhkan data berupa gambar teknik untuk membuat model tiga dimensi serta data operasional untuk mensimulasikan kondisi sebenarnya pada kanal *intake*. Selain itu dibutuhkan literatur untuk referensi proses simulasi yang perlu dilakukan serta cara analisa hasil yang diperoleh.
- b. Pembuatan model autocad tiga dimensi. Model Autocad tiga dimensi diperlukan sebagai replika kondisi geometri kanal *intake* yang sebenarnya, kemudian melalui *algorithm* pada peranti lunak akan diberlakukan berbagai kondisi operasional yang berlaku sehingga simulasi dapat berjalan.
- c. *Pre-processing* Autodesk CFD. Tahapan ini merupakan tahap dimana ketika model tiga dimensi sudah siap. Model kemudian di masukan pada serangkaian proses pra simulasi seperti penentuan jenis material serta propertinya, penentuan lapisan batas serta kondisi batas sesuai data operasional. Langkah terakhir adalah menyiapkan skenario simulasi yang diharapkan sehingga hasil yang didapat sesuai tujuan penelitian.
- d. Tahapan *processing*. Merupakan tahapan simulasi berlangsung. Dengan *algorithm* yang ada pada peranti lunak dilakukan perhitungan berbagai faktor input yang disiapkan pada tahap pra simulasi dan melakukan simulasi dengan berbagai persamaan fluida yang diperhitungkan sehingga terjadi kondisi aliran sebagaimana pada kondisi nyata.
- e. Tahapan *post-processing*. Tahapan ini adalah tahapan pengambilan hasil simulasi. Berbagai parameter dapat diketahui hasilnya dengan

didukung tampilan visual yang memadai sehingga memudahkan proses analisa dan pengambilan kesimpulan.

- f. Pembuatan laporan. Setelah hasil didapat dan kesimpulan diketahui maka proses dokumentasi hasil penelitian secara tertulis dilakukan dengan pembuatan laporan Tugas Akhir.

Tahapan penyelesaian Tugas Akhir ini ditunjukkan melalui diagram alir dibawah ini:



**Gambar 3.1** Diagram alir metodologi penelitian

## **3.2 Penjelasan Diagram Alir**

### **3.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk memberikan penjelasan terhadap permasalahan yang ada. Melalui studi literatur didapatkan tambahan pengetahuan terhadap permasalahan yang akan dibahas di Tugas Akhir dengan mencari literatur yang diperlukan. Literatur yang dimaksud berupa buku, jurnal ataupun laporan Tugas Akhir terdahulu serta mempelajari proses pengolahan data dan pemodelan dengan piranti lunak Autodesk CFD.

### **3.2.2 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan sebelum pengerjaan Tugas Akhir dimulai. Data yang diperlukan berupa data sekunder yakni gambar teknik *cooling water intake* dan data operasional kanal serta pompa *intake*. Data yang terkumpul dapat dilihat pada lampiran.

### **3.2.3 Pembuatan Model AutoCad 3D**

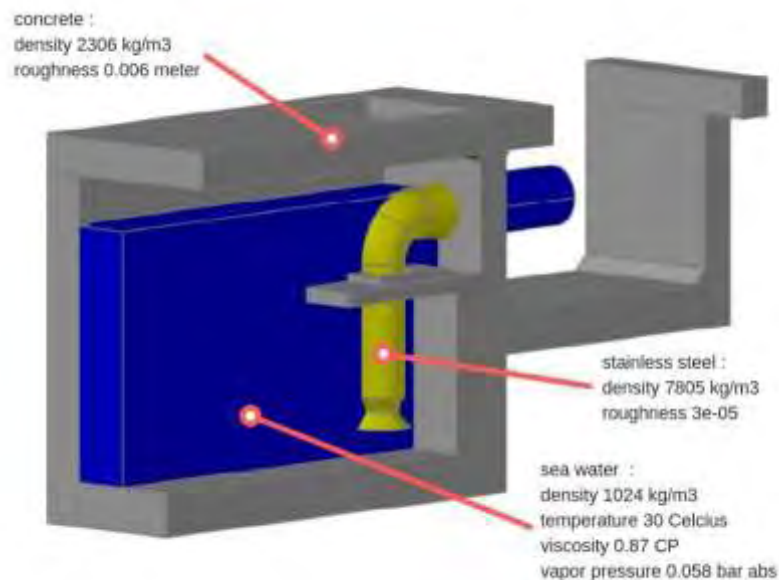
Sebelum melakukan proses simulasi CFD terlebih dahulu dilakukan pembuatan model tiga dimensi dengan menggunakan peranti lunak AutoCad. Model yang dibuat berdasarkan data operasi dan gambar teknik kanal *cooling water intake* PLTGU Grati.

### **3.2.4 Pre-processing**

Pada simulasi CFD, tahap-tahap yang dilalui secara umum terdapat tiga bagian yakni : tahap *pre-processing*, tahap *processing* dan kemudian tahap *post-processing*. Pada tahap *pre-processing* meliputi pendefinisian material pada model yang dibangun, kemudian pendefinisian kondisi batas model sebelum disimulasikan, kemudian pendefinisian ukuran *mesh* pada tiap bagian model, yang terakhir adalah melakukan pengaturan skenario penyelesaian. Kualitas model tiga dimensi yang dibuat sangat mempengaruhi proses simulasi agar terhindar dari *error*. Selain itu pendefinisian model pada tahap *pre-processing* juga turut mempengaruhi kesesuaian hasil yang diinginkan.

#### a. Pengaturan Material

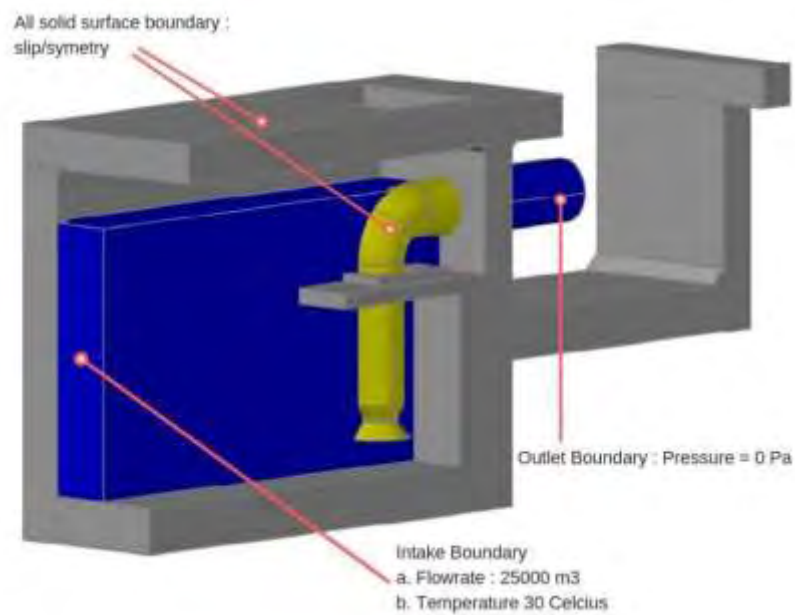
Pada tahap pengaturan material dilakukan pendefinisian jenis material yang ada pada model. Selain itu karakteristik materialnya juga diatur agar aliran yang terjadi pada simulasi dapat menggambarkan kondisi sebenarnya.



**Gambar 3.2** Pengaturan *material* pada model

#### b. Pengaturan *Boundary Condition*

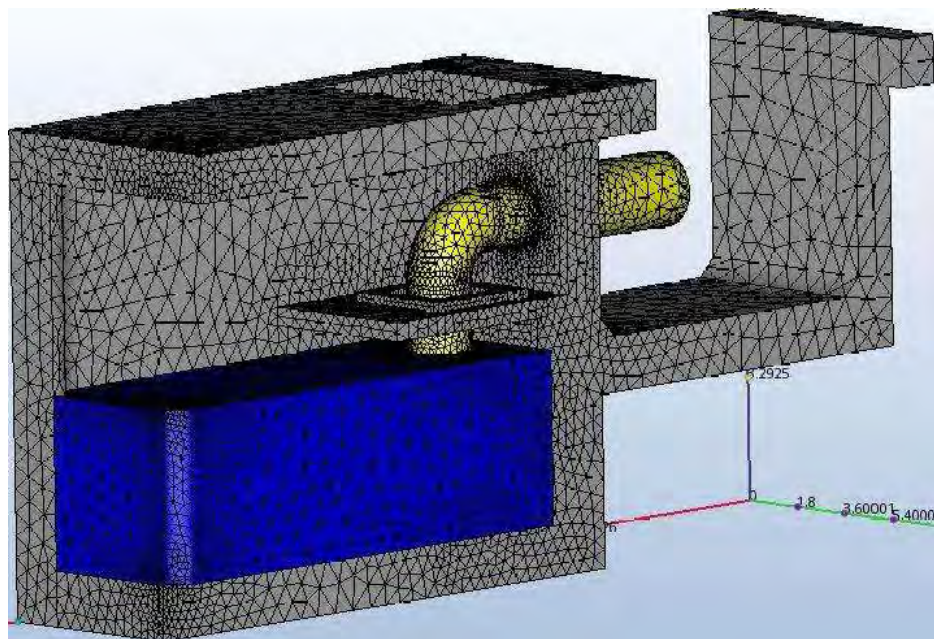
Pada tahap pengaturan *boundary condition*, dilakukan pendefinisian kondisi batas yang berlaku pada model saat simulasi. Kondisi batas tersebut diantaranya adalah pendefinisian bagian *inlet* dengan kondisi aliran masuk memiliki debit 25000 m<sup>3</sup> tiap jam, dengan suhu 30° C. Kemudian dilakukan pendefinisian batas aliran pada permukaan air bagian tepi sebagai *slip/symetri*. Yang terakhir adalah pendefinisian *outlet* yakni dengan mengatur tekanan bernilai nol.



**Gambar 3.3** Pengaturan *boundary* pada model

### c. Pengaturan *Mesh Sizing*

Pada tahap pengaturan *mesh sizing* dilakukan pendefinisian ukuran *mesh* yang berlaku pada model, pada Gambar 3.4 merupakan ilustrasi sistem *mesh* yang berlaku pada model. Dalam penelitian ini pendefinisian dilakukan secara otomatis. Sedangkan parameter yang diatur tercantum pada Tabel 3.1.



**Gambar 3.4** Pengaturan *mesh size* pada model

**Tabel 3.1** Pengaturan parameter pada automatic mesh

Mesh type	Automatic
<b>Boundary Mesh Enhancement</b>	
Number of layer	15
Layer factor	0.25
Layer gradation	1.25
<b>Advanced Meshing Controls</b>	
Resolution factor	1
Edge growth rate	1.1
Minimum point on edge	2
Point on longest edge	10
Surface limiting aspect ratio	20
Volume growth rate	1.2
Surface growth rate	1.2
Enhancement growth rate	1.1
Fluid gap element	2
Thin solid element	1

**d. Solving Scenario**

*Solving scenario* merupakan tahapan untuk melakukan pengaturan skenario penyelesaian pada simulasi yang berlangsung. Skenario yang akan dilakukan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

<i>Solution mode</i>	: <i>transient</i>
<i>Time step size</i>	: 0.01179 detik
<i>Inner iteration</i>	: 10
<i>Advection</i>	: ADV 5 (Petrov-Galkrin)
<i>Solution control</i>	: <i>velocity, vorticity</i> dan <i>turbulence</i>
<i>Turbulence model</i>	: SST $k - \omega$ SAS
<i>Cavitation model</i>	: <i>on</i>

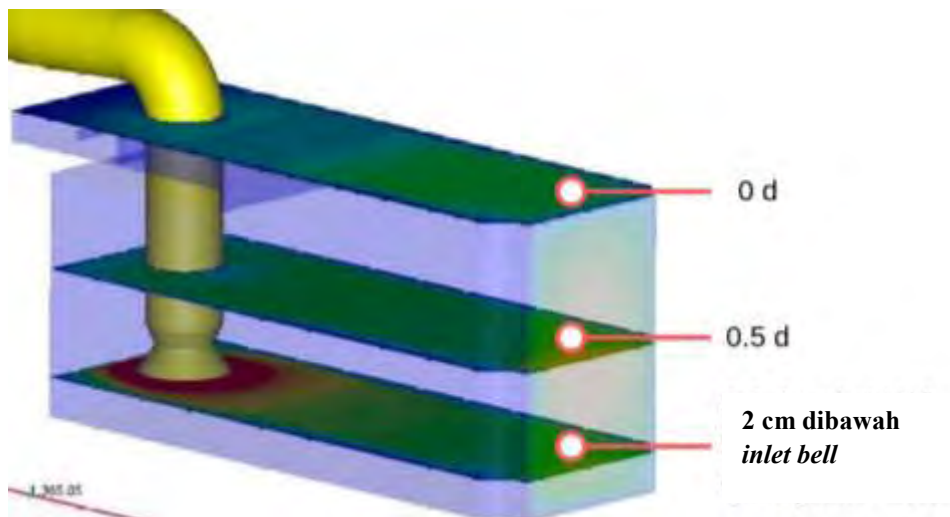
### 3.2.5 Processing

Pada tahap ini dilakukan iterasi terhadap persamaan aliran fluida untuk menghasilkan penyelesaian dari problem yang akan diselesaikan sebanyak 10 kali di tiap time step dengan jumlah time step 600 sehingga jumlah total iterasi 6000 kali.

### 3.2.6 Post-processing

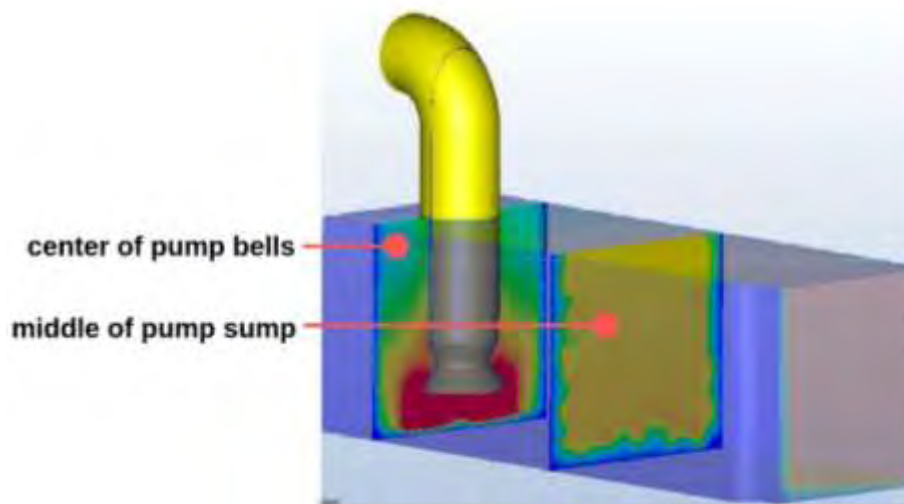
Pada tahap *post processing* dilakukan pengaturan sajian hasil berupa tampilan gambar, serta grafik. Pada Tugas Akhir ini sajian hasil berupa gambar dua dimensi distribusi hasil, *particle tracing*, serta grafik. Sedangkan data hasil yang diinginkan adalah kecepatan serta vortisitas. Hasil tersebut kemudian dibandingkan sehingga terlihat peranan peranti anti vorteks dalam pembentukan pola aliran. Setelahnya melalui perbandingan grafik dapat ditarik kesimpulan peranti anti vorteks yang berperan lebih besar dalam mencegah terjadinya vorteks.

- a. Teknik Penyajian Visual Hasil Numerik
- b. Teknik Penyajian Grafik Hasil Numerik
- c. Teknik Penyajian *Particle Tracing* Hasil Numerik



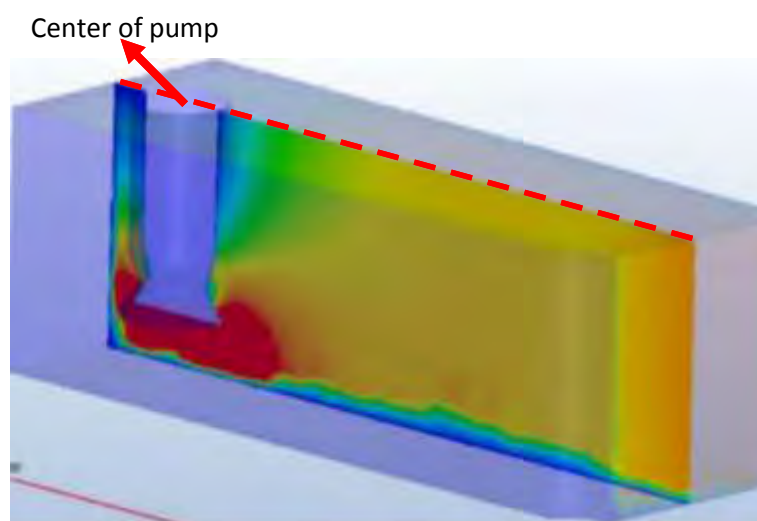
**Gambar 3.5** Teknik penyajian tampilan visual tampak atas dan lokasi pengambilan data kecepatan





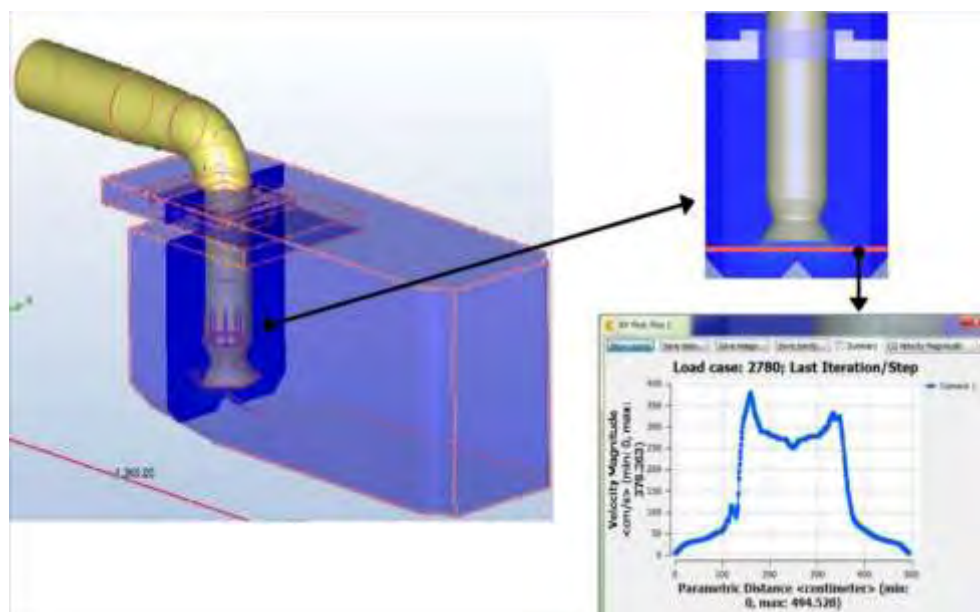
**Gambar 3.6** Teknik penyajian tampilan visual tampak depan

Pada Gambar 3.5 menjelaskan bagaimana tahapan pengambilan gambar dua dimensi tampak atas. Ada tiga elevasi ukur yang diambil yakni pada permukaan air (0 d), pada setengah dari skenario kedalaman yang berlaku (0.5 d) dan pada 2 cm dibawah *inlet bell*. Dengan adanya tiga elevasi ukur tersebut diharapkan cukup merepresentasikan kondisi aliran di kanal *intake*. Gambar tampak depan juga diambil dengan teknik sebagaimana terlihat pada Gambar 3.6 dimana ada dua lokasi yang diambil yakni di tengah kanal serta pada bagian pompa. Pada Gambar 3.7 diperlihatkan cara pengambilan gambar tampak samping. Lokasi pengambilan gambar berada di tengah sehingga diharapkan dapat menjelaskan bagaimana aliran air ketika mendekat ke arah pompa.



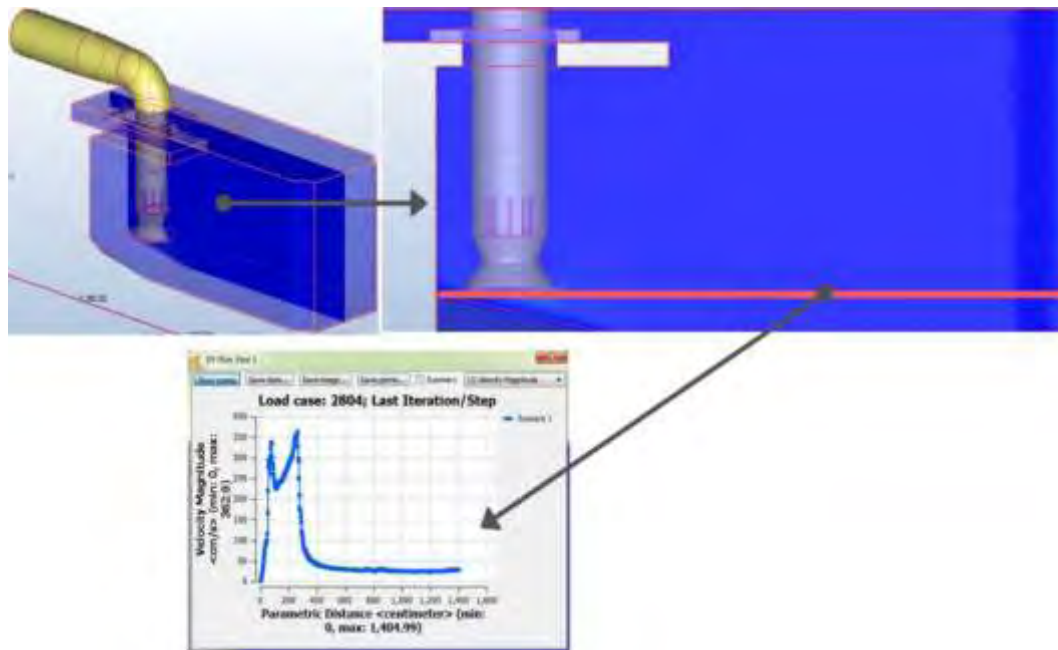
**Gambar 3.7** Teknik penyajian tampilan visual tampak samping

Setelah pengambilan gambar dua dimensi pada berbagai arah pandang, tahapan selanjutnya adalah pengambilan hasil berupa grafik. Data yang dijadikan grafik adalah data kecepatan dan vortisitas dari aliran yang menuju kearah pompa yakni pada arah *x-direction* dan *y-direction*. Pada arah *y-direction* pengambilan dilakukan pada gambar 2 dimensi tampak depan di lokasi pompa sebagaimana terlihat pada gambar 3.8. Kemudian garis melintang dibuat pada elevasi 2 cm dibawah pompa, garis merah tersebut merupakan representasi dari 501 titik lokasi pengukuran. Kemudian data hasil pengukuran dibuat grafik sehingga nampak bagaimana profil aliran yang masuk ke pompa dari arah samping.

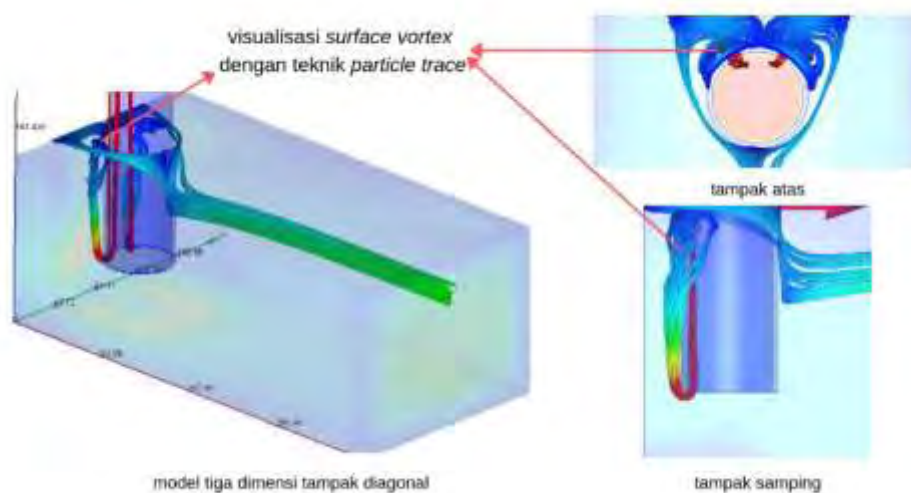


**Gambar 3.8** Teknik penyajian garfik *y-direction*

Pada arah *x-direction* pengambilan dilakukan pada gambar 2 dimensi tampak samping di lokasi pompa sebagaimana terlihat pada gambar 3.9. Kemudian garis membujur dibuat pada elevasi 2 cm dibawah pompa, garis merah tersebut merupakan representasi dari 501 titik lokasi pengukuran. Kemudian data hasil pengukuran dibuat grafik sehingga nampak bagaimana profil aliran yang masuk ke pompa dari arah samping. Sedangkan pada gambar 3.10 merupakan gambar hasil visualisasi vorteks dengan teknik *particle tracing*.



**Gambar 3.9** Teknik penyajian garfik *x-direction*



**Gambar 3.10** Teknik penyajian tampilan visual *particle tracing*

### 3.2.7 Pembuatan Laporan

Pada tahap ini penulis memberikan sajian hasil dari kegiatan penelitian dalam bentuk laporan Tugas Akhir sebagai pelengkap syarat akademik, dokumentasi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta untuk dapat dimanfaatkan oleh peneliti lainnya.

## **BAB IV**

# **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Lokasi Objek Studi

Lokasi yang menjadi objek studi dari penelitian Tugas Akhir ini adalah *cooling water intake* PLTGU Grati yang terletak di Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Wilayah Kecamatan Lekok merupakan wilayah pesisir yang dikelilingi oleh Selat Madura, sedangkan secara geografis PLTGU Grati terletak di  $113^{\circ} 00' 35,5''$  -  $113^{\circ} 02' 06,2''$  bujur timur dan  $7^{\circ} 39' 10,6''$  -  $07^{\circ} 39' 11,6''$  lintang selatan. Lokasi dan gambar tampak atas *cooling water intake* dapat dilihat di Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Lokasi objek studi

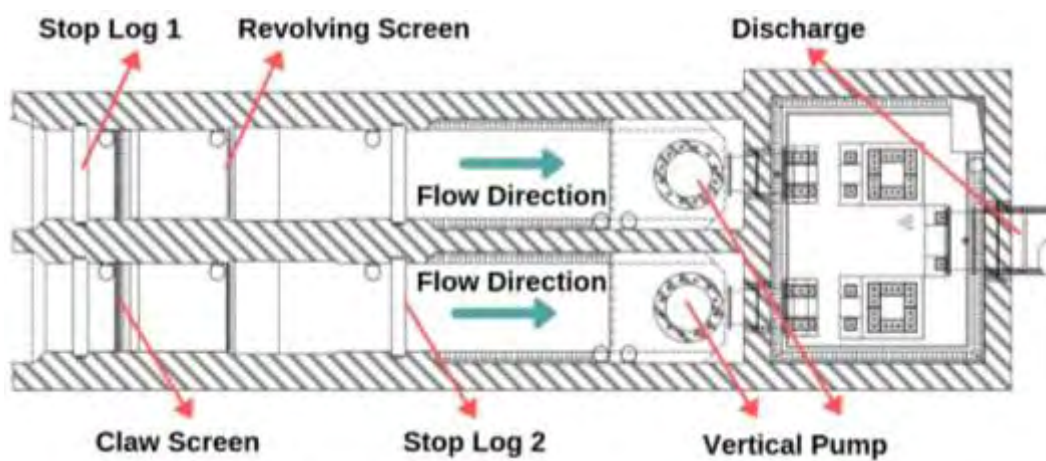
### 4.2 Data Gambar dan Kondisi Operasi Kanal *Intake*

Data yang didapat untuk melakukan proses pemodelan adalah data berupa gambar teknik struktur *cooling water intake* seperti pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 yang kemudian dibuat dalam bentuk model tiga dimensi. Setelah terbentuk model tiga dimensi barulah proses simulasi komputasi dinamika fluida dimulai. Dari gambar teknik dapat diketahui bahwa dimensi *cooling water intake* memiliki panjang 45 meter dan lebar 14.4 meter. Sedangkan pada bagian *intake basin* panjang 33.3 meter, lebar 13.4 meter dan kedalaman 11.67 meter. Struktur *intake*

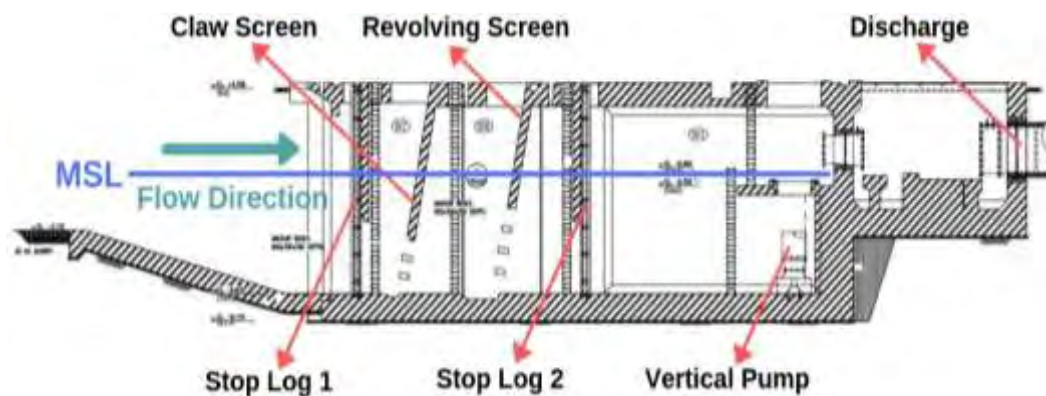


terdiri dari dua kanal yang masing-masing dilengkapi *claw screen*, *revolving screen* tampak pada Gambar 4.4 serta *vertical pump* seperti pada gambar 4.5.

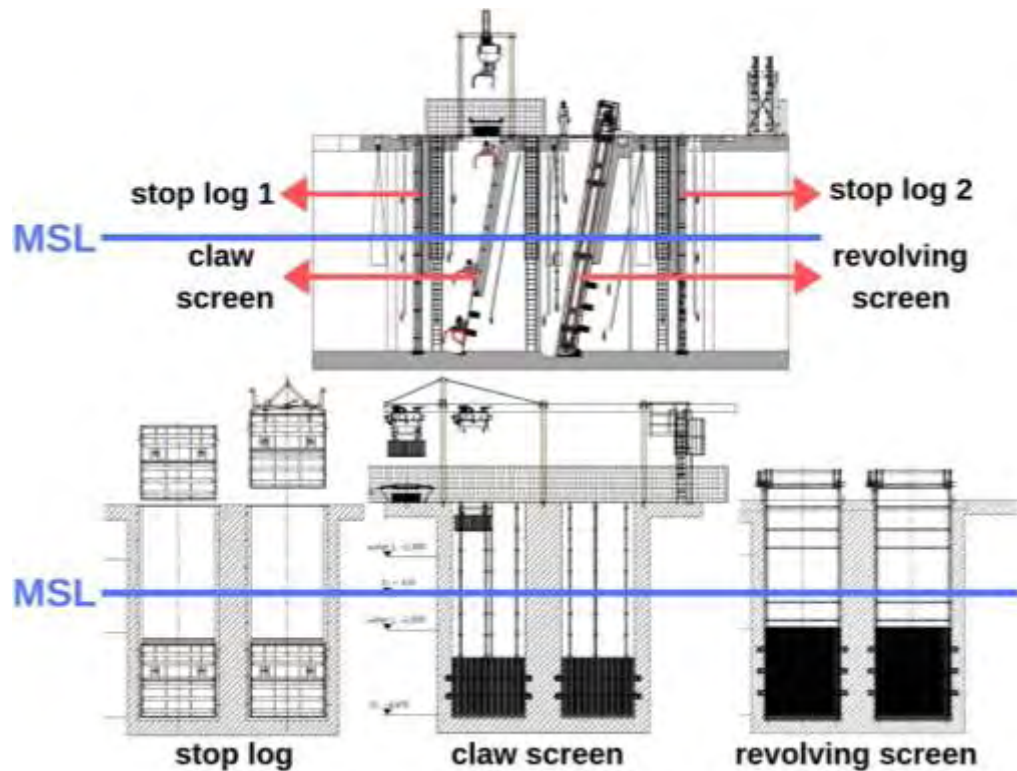
Pada kondisi operasi diketahui bahwa besarnya *flowrate* pompa 25000 m<sup>3</sup>/h. Air yang mengalir merupakan air laut dengan suhu 30° Celcius, memiliki *vapor pressure* sebesar 0.058 bar abs serta viskositas 0.870 CP. Pompa yang digunakan adalah jenis *vertical centrifugal pump* dengan *nominal speed* 424 rpm. Dari data perencanaan *intake* diketahui kedalaman air pada elevasi normal (MSL) adalah 6.67 m. Pada elevasi air tertinggi (HHWL), ketinggian air 2 meter diatas MSL, yaitu pada kedalaman sebesar 8.67 meter. Pada elevasi air terendah (LLWL), ketinggian air 2 meter dibawah MSL dengan kedalaman air sebesar 4.67 meter.



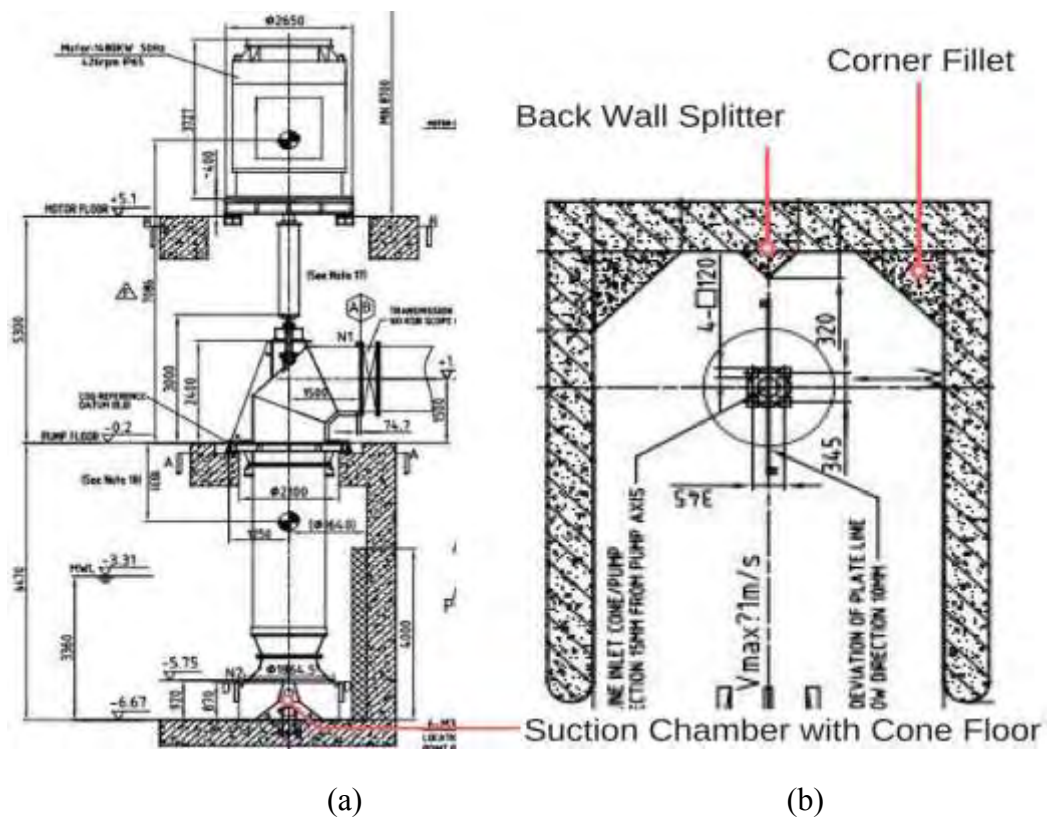
**Gambar 4.2** Geometri struktur *intake* tampak atas



**Gambar 4.3** Geometri struktur *intake* tampak samping



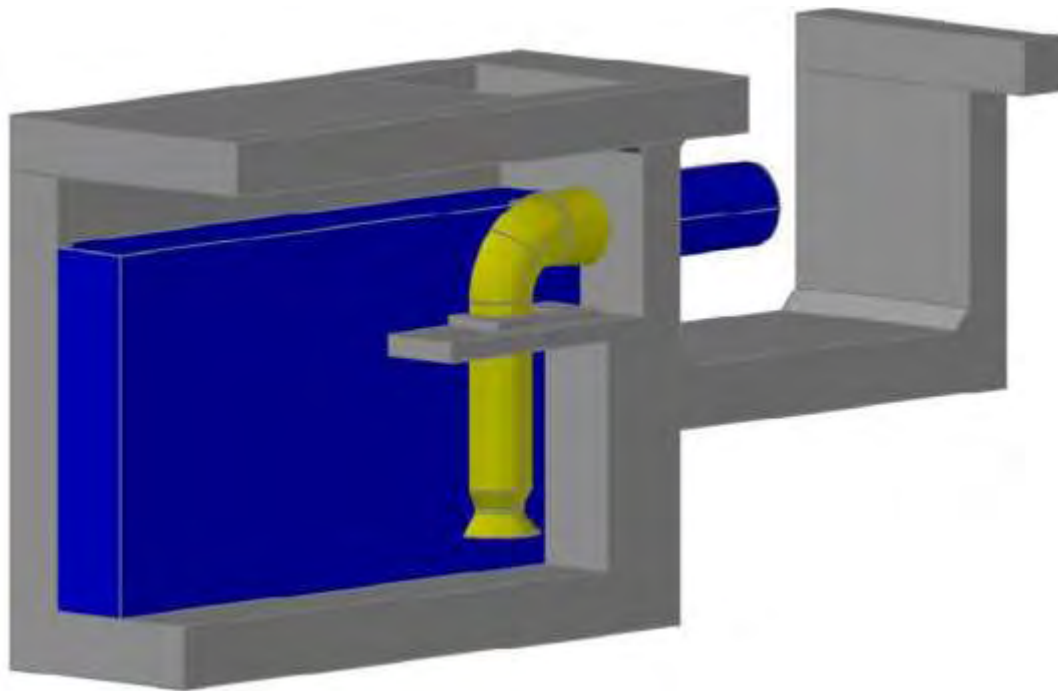
**Gambar 4.4** Bentuk geometri *stop log*, *claw screen* dan *revolving screen* tampak samping dan depan



**Gambar 4.5** Bentuk geometri sekitar *pompa* (a) tampak samping dan (b) atas

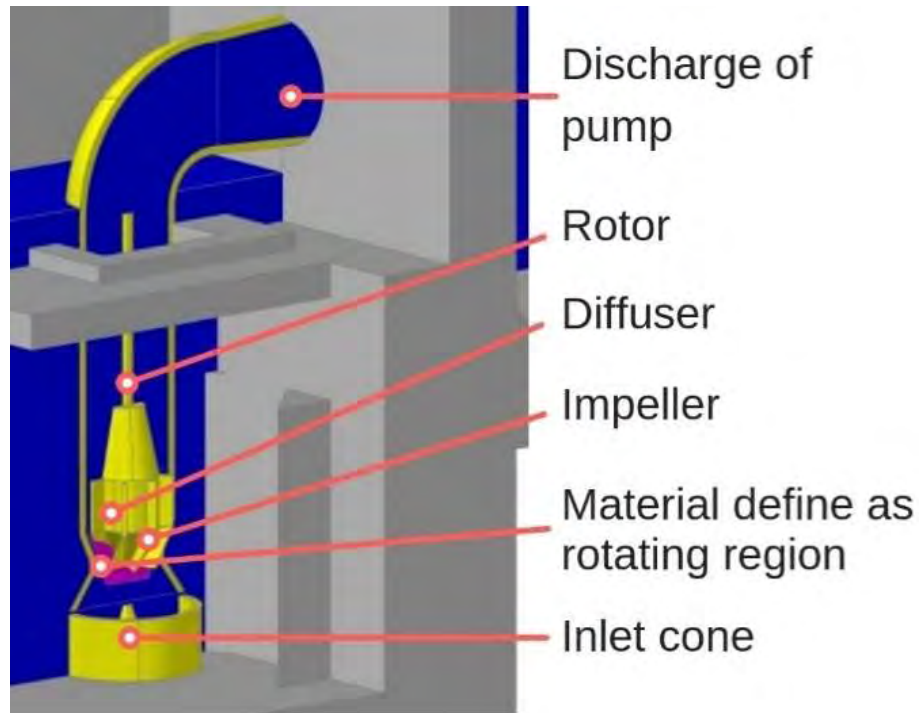
### 4.3 Model Tiga Dimensi Kanal *Intake*

Model tiga dimensi kanal *intake* dibuat dengan menggunakan peranti lunak AutoCad. Model terdiri dari 2 kanal *intake* yang masing-masing kanal terdapat *claw screen*, *revolving*, *stop log* serta *vertical centrifugal pump*. Pada pompa vertikal terdapat bagian *impeller*, *diffusser* dan *rotor*. Bilah *impeller* serta *diffuser* masing-masing berjumlah 8. Pada sekitar pompa juga terdapat peranti anti vorteks yang nantinya pada penelitian ini akan dianalisa dua macam kombinasi yang berbeda. Simulasi kemudian dilakukan dengan memvariasikan kedalaman air yakni HHWL, MSL dan LLWL. Pada skenario HHWL kedalaman air 8.67 m, MSL kedalaman air 6.67 m dan LLWL memiliki kedalaman air 4.67 m. Untuk meningkatkan ketajaman hasil dengan banyaknya jumlah *mesh* serta terbatasnya kemampuan computer maka model yang dianalisa hanya pada bagian dekat pompa saja seperti tampak pada Gambar 4.6. Model detail mengenai pompa tampak pada Gambar 4.7 dan variasi yang berlaku tampak pada Gambar 4.8.

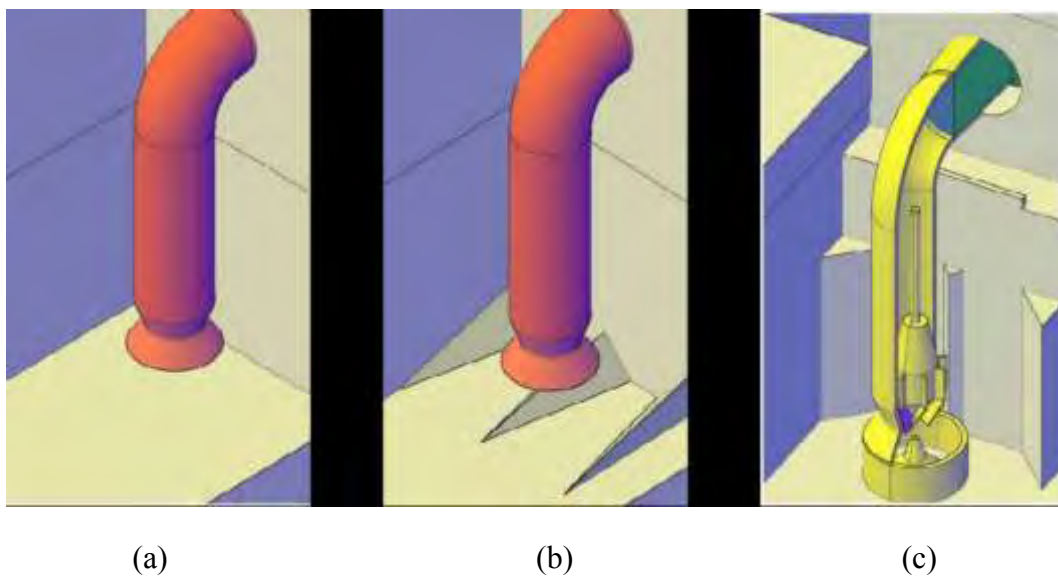


**Gambar 4.6** Tampilan model tiga dimensi *cooling water intake* PLTGU Grati





**Gambar 4.7** Tampilan model tiga dimensi pada bagian *vertical pump*



**Gambar 4.8** Perbedaan variasi geometri pada peranti anti vorteks (AVD) yaitu (a) model tanpa AVD (b) model dengan AVD tipe 1 dan (c) model exsisting dengan AVD tipe 2

#### 4.4 Skenario Simulasi Kanal *Intake*

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan simulasi terhadap *cooling water intake* PLTGU Grati. Variasi yang dilakukan pada peranti anti vorteks dengan membuat kombinasi yang berbeda kemudian disimulaikan pada tiga kondisi kedalaman air. Untuk melihat pengaruh masing-masing kombinasi peranti anti vorteks, sebagai pembanding dilakukan juga simulasi terhadap kanal *intake* tanpa disertai peranti tersebut. Sehingga jumlah skenario simulasi serta informasi detail skenario yang direncanakan terlampir pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Detail skenario simulasi komputasi dinamika fluida

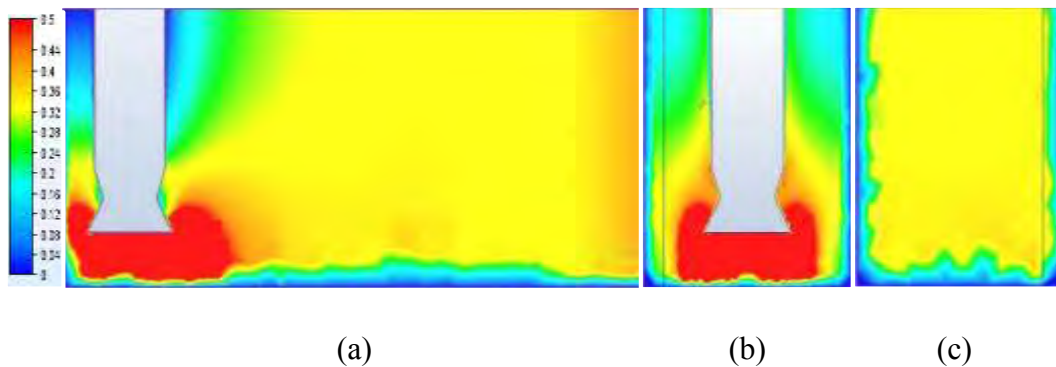
Skenario simulasi	kedalaman air	piranti anti vorteks					kode nama
		wall splitter plate	corner fillet	floor cone	side wall fillets	center splitter	
skenario 1	4.67 m	-	-	-	-	-	LLWL non AVD
skenario 2	4.67 m	-	-	-	digunakan	digunakan	LLWL AVD 1
skenario 3	4.67 m	digunakan	digunakan	digunakan	-	-	LLWL AVD 2
skenario 4	6.67 m	-	-	-	-	-	MSL non AVD
skenario 5	6.67 m	-	-	-	digunakan	digunakan	MSL AVD 1
skenario 6	6.67 m	digunakan	digunakan	digunakan	-	-	MSL AVD 2
skenario 7	8.67 m	-	-	-	-	-	HHWL non AVD
skenario 8	8.67 m	-	-	-	digunakan	digunakan	HHWL AVD 1
skenario 9	8.67 m	digunakan	digunakan	digunakan	-	-	HHWL AVD 2

#### 4.5 Hasil Simulasi Pola Aliran Kanal *Intake*

Komputasi dinamika fluida (CFD) memiliki keunggulan dibandingkan pengujian fisik, yakni mampu memodelkan geometri dengan skala penuh serta menyesuaikan detail kondisi batas yang terjadi. Namun batasan kemampuan yang ada terjadi karena berbagai upaya pendekatan numerik yang harus diupayakan sehingga membuat teknologi komputasi terus dikembangkan. Dalam melihat dinamika aliran fluida yang terjadi dari hasil simulasi numerik, berbagai parameter digunakan sebagai aspek penilaian yaitu distribusi kecepatan dan distribusi vortisitas. Oleh karenanya, dalam sub bab ini akan dijabarkan hasil dari tiap skenario yang didapatkan setelah iterasi ke 6000 (600 step).

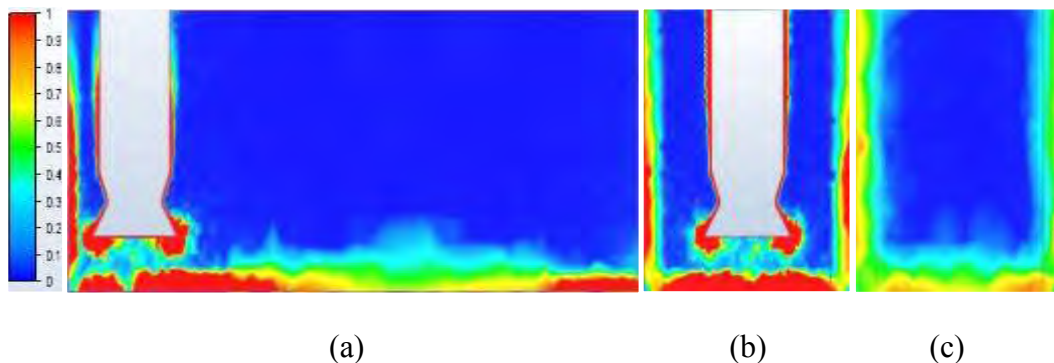
#### 4.5.1 Skenario 1: Kanal *Intake* Non AVD Elevasi 4.67 m (LLWL)

Pada skenario ini dilakukan pengujian model kanal tanpa anti vorteks dengan kedalaman air 4.67 meter. Dari hasil pengujian pada Gambar 4.9 diketahui bahwa pola aliran cenderung mengalami peningkatan kecepatan ketika mendekati mulut pompa. Berdasarkan rekomendasi *Hydraulic Institute* dalam usaha mencegah terjadinya aliran vorteks maka aliran *non uniform* perlu diminalkan dengan menjaga agar kecepatan pada kanal *intake* sebesar 0.5 m/s (ANSI/HI, 1998). Pada model pertama, rata-rata kecepatan aliran pada elevasi 0 d sebesar 0.263 m/s kemudian mengalami kenaikan pada elevasi 0.5 d menjadi 0.298 m/s, rata-rata kecepatan melampaui rekomendasi HI pada elevasi 2 cm di bawah pompa yakni sebesar 0.492 m/s. *Intake bell* merupakan bagian dari sistem *intake* yang dapat diukur sebagai pembanding kondisi aliran fluida pada kanal.



**Gambar 4.9** Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

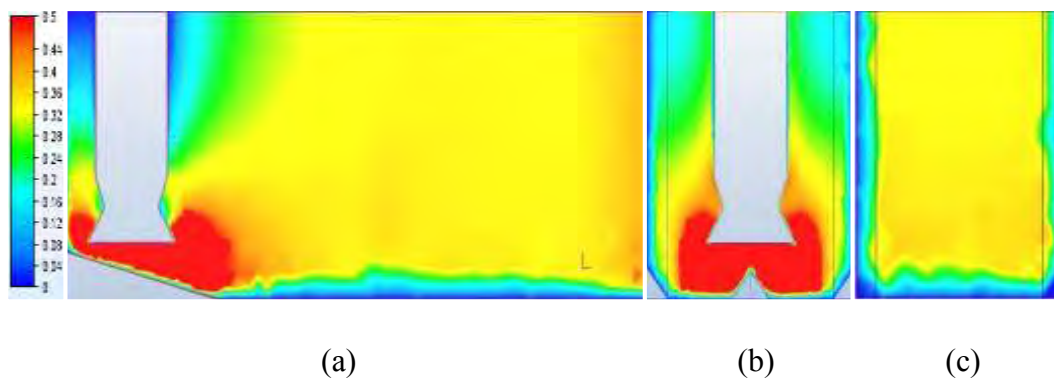
HI merekomendasikan rentang kecepatan pada pompa sebesar 2-5 m/s (ANSI/HI, 1998). Pada model skenario 1 didapatkan bahwa besar kecepatan 2,567 m/s. Indikasi lain dalam menilai keseragaman aliran fluida adalah dengan menggunakan parameter *vorticity* yang meskipun tidak berkorelasi langsung terhadap hadirnya vorteks, namun dapat membantu dalam menilai adanya pola aliran yang tidak diharapkan. Melalui simulasi didapatkan hasil rata-rata *vorticity* pada elevasi 0 d sebesar 0.158, elevasi 0.5 d sebesar 0.191 dan pada elevasi 2 cm di bawah pompa *vorticity* sebesar 0.288. Pada Gambar 4.10 diketahui bahwa aliran cenderung mengalami vortisitas pada *wall layer* serta *intake bell*.



**Gambar 4.10** Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

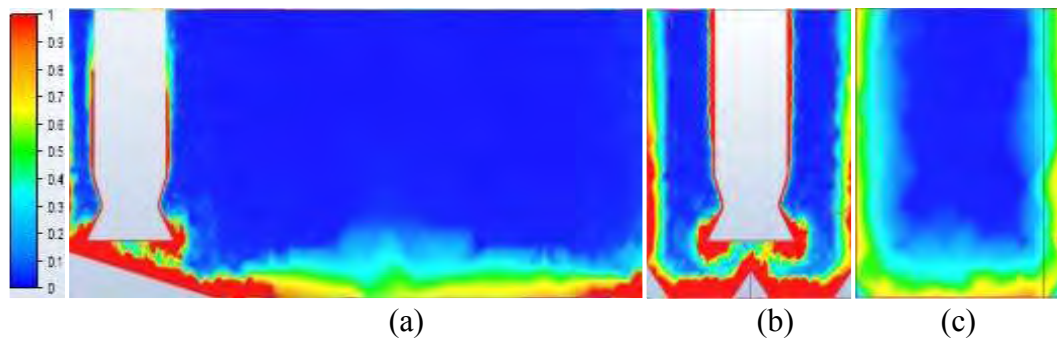
#### 4.5.2 Skenario 2: Kanal *Intake* AVD 1 Elevasi 4.67 m (LLWL)

Pada skenario ke 2 kedalaman air tetap 4.67 m namun diberikan variasi anti vorteks (AVD 1). Kondisi aliran tidak jauh berbeda dengan skenario 1, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.11 dimana rata-rata kecepatan pada elevasi 0 d sebesar 0.269; pada elevasi 0.5 d sebesar 0.300; serta elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 0.504. Kecepatan di sekitar *intake bell* pada skenario ke 2 lebih tinggi dikarenakan adanya struktur anti vorteks yang membuat volume medan aliran lebih kecil. Pada *intake bell* kecepatan aliran yang masuk ke pompa sebesar 2.585 m/s, lebih tinggi bila dibandingkan pada skenario pertama.



**Gambar 4.11** Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

Penilaian terhadap vortisitas pola aliran juga dilakukan pada model pada 3 elevasi ukur. Pada elevasi 0 d rata-rata vortisitas sebesar 0.161. Pada elevasi 0.5 d rata-rata vortisitas sebesar 0.197. Nilai rata-rata vortisitas meningkat pada elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 1.383. Dari hasil simulasi, terlihat pada Gambar 4.12 diketahui bahwa nilai vortisitas cenderung meningkat ketika mendekati pompa.



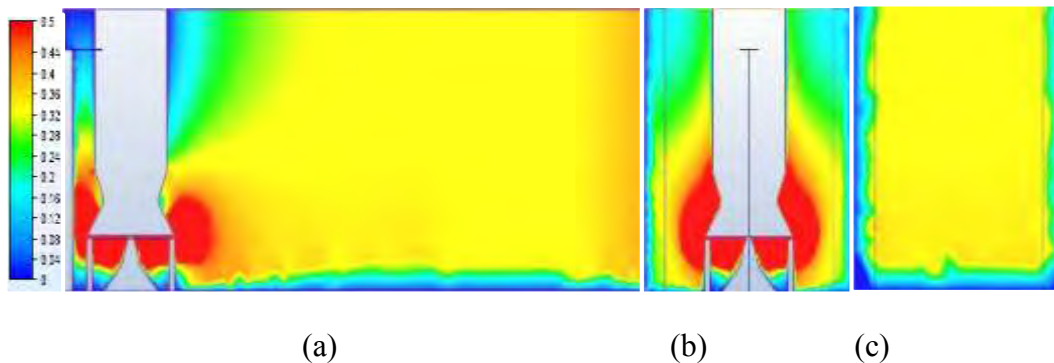
**Gambar 4.12** Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

#### 4.5.3 Skenario 3: Kanal *Intake* AVD 2 Elevasi 4.67 m (LLWL)

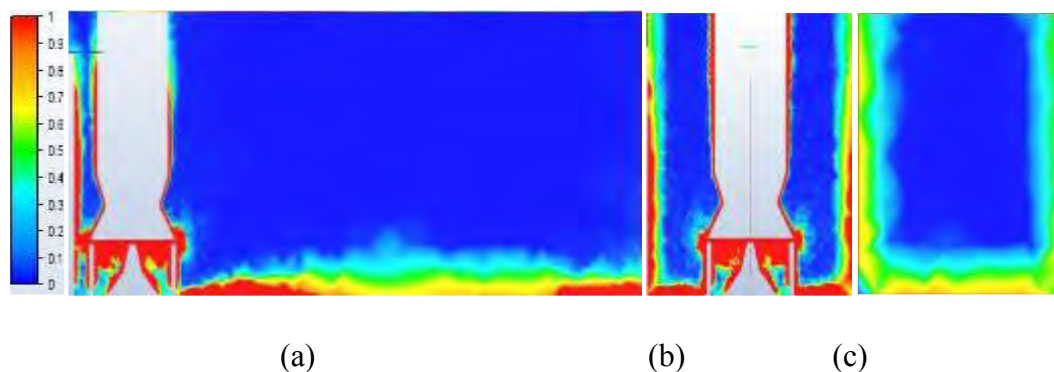
Pada skenario ke 3 kedalaman air tetap 4.67 m dengan struktur anti vorteks (AVD 2) sebagai *existing model*. Terlihat pada Gambar 4.13 bentuk aliran cukup signifikan bila dibandingkan dua skenario sebelumnya karena dipengaruhi oleh geometri anti vorteks. Jarak sebesar 5 cm antara *intake* bell dengan anti vorteks yang memiliki bentuk silinder sisi luar memiliki peran signifikan dalam peningkatan kecepatan aliran di sekitar *intake bell* hingga mencapai maksimum sebesar 43.402 m/s dengan rata-rata kecepatan pada elevasi 0.8d sebesar 0.142, hasil tersebut lebih tinggi bila dibandingkan 2 skenario sebelumnya. Sedangkan pada elevasi 0 d rata-rata kecepatan aliran sebesar 0.267 dan pada elevasi 0.5 d sebesar 0.307, kedua elevasi tersebut tidak jauh berbeda dengan kondisi pada 2 skenario sebelumnya yang masih memenuhi batas maksimum rekomendasi HI yakni sebesar 0.5 m/s (ANSI/HI, 1998).

Pengukuran kecepatan pada *intake bell* sebesar 2.526 m/s, lebih rendah di bandingkan skenario 1 dan 2 dikarenakan adanya aliran *non uniform* yang mengganggu masuknya air ke pompa. Pada hasil simulasi juga dilakukan pengukuran vortisitas terhadap pola aliran didalam kanal sebagaimana tampak pada

Gambar 4.14. Hasil pengukuran pada elevasi 0 d didapatkan rata-rata hasil 0.166, pada elevasi 0.5 d sebesar 0.204. Bentuk dari geometri anti vorteks 2 turut mempengaruhi peningkatan nilai rata-rata vorticity menjadi sebesar 19.020.



**Gambar 4.13** Distribusi kecepatan kanal skenario LLWL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal



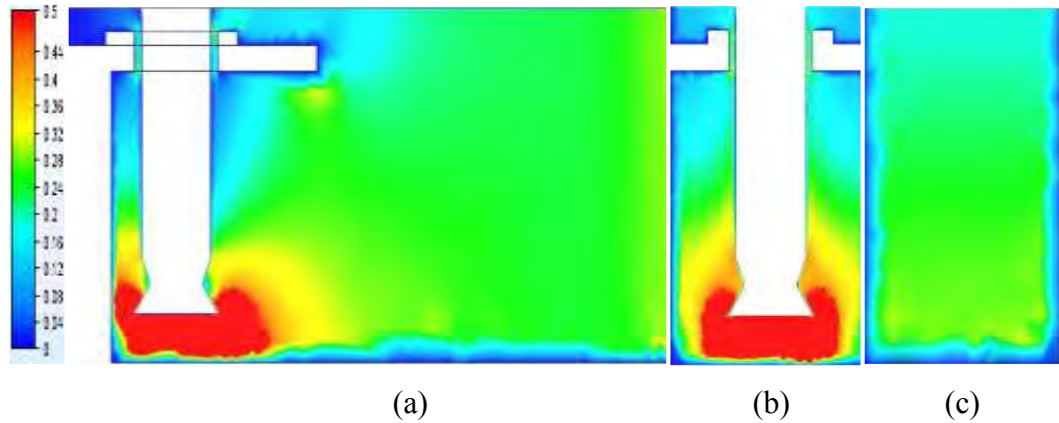
**Gambar 4.14** Distribusi vortisitas kanal skenario LLWL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

#### 4.5.4 Skenario 4: Kanal *Intake* Non AVD Elevasi 6.67 m (MSL)

Pada skenario ke 4, model memiliki kedalaman air sebesar 6.67 m tanpa anti vorteks. Perbedaan elevasi air yang lebih tinggi dibanding 3 skenario sebelumnya dengan *flowrate* yang sama pada *boundary condition* yakni sebesar 25000 m<sup>3</sup> mempengaruhi kecepatan di kanal *intake* secara global menjadi lebih rendah seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 sehingga memenuhi rekomendasi HI pada semua elevasi ukur. Kecepatan rata-rata pada elevasi 0 d adalah sebesar 0.155

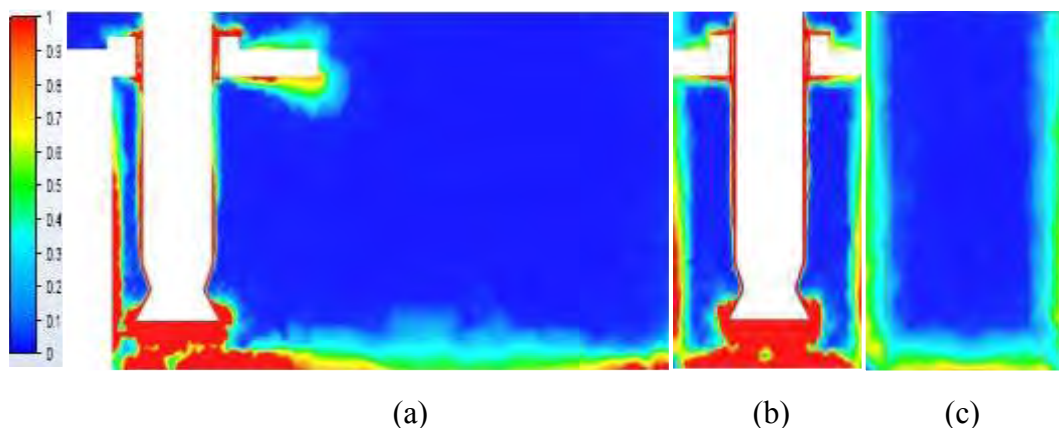


m/s, elevasi 0.5 d sebesar 0.214 m/s serta elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 0.447 m/s. Pada *intake bell* kecepatan aliran yang masuk ke pompa sebesar 2.578 m/s, merupakan yang tertinggi diantara model dengan kedalaman air sebesar 6.67 m.



**Gambar 4.15** Distribusi kecepatan kanal skenario MSL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

Pengukuran rata-rata vortisitas pada model juga dilakukan pada 3 elevasi ukur. Pada elevasi 0 d nilai rata-rata vortisitas sebesar 0.100 sedangkan pada elevasi 0.5 d nilai rata-rata vortisitas sebesar 0.157 dan bernilai sebesar 1.644 pada elevasi 2 cm di bawah pompa. Hasil yang berbeda terlihat pada Gambar 4.16 bila dibandingkan dengan skenario 1 maka nilai rata-rata vortisitas pada skenario tersebut memiliki selisih yang jauh lebih tinggi bila dibandingkan skenario 5.

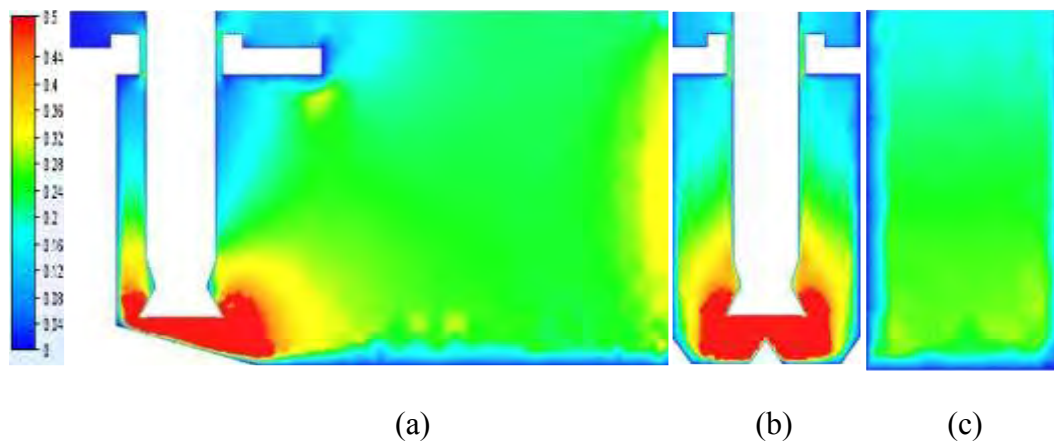


**Gambar 4.16** Distribusi vortisitas kanal skenario MSL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

#### 4.5.5 Skenario 5: Kanal *Intake* AVD 1 Elevasi 6.67 m (MSL)

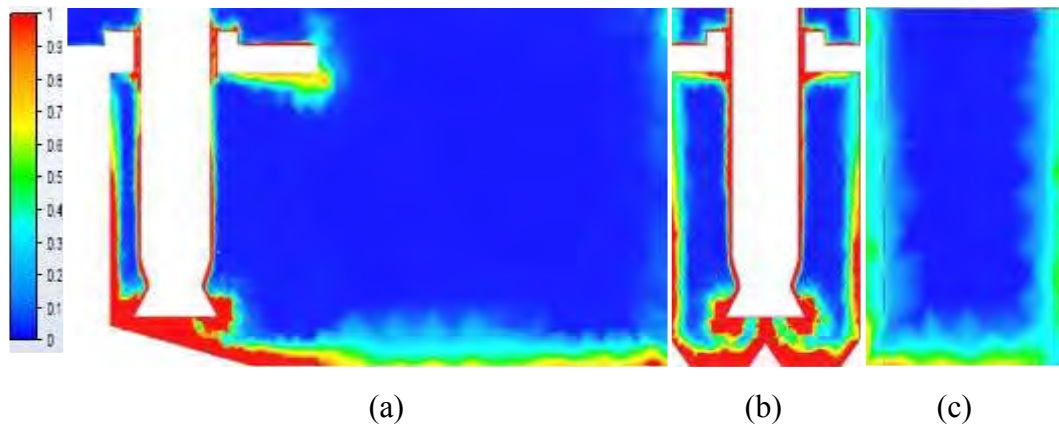
Pada skenario ke 5 sebagaimana terlihat pada Gambar 4.17 memiliki kedalaman air 6.67 dengan variasi anti vorteks jenis pertama (AVD 1). Pada skenario ini kecepatan rata-rata yang dimiliki model pada elevasi 0 d adalah sebesar 0.142 m/s, merupakan yang terendah diantara model dengan elevasi air sebesar 6.67 m. Kecepatan rata-rata pada elevasi 0.5 d sebesar 0.214 m/s dan pada elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 0.430 m/s. Kecepatan aliran yang masuk ke pompa sebesar 2.538 m/s lebih rendah dibandingkan skenario 4.

Pada skenario ke 5 juga dilakukan pengukuran rata-rata nilai vortisitas, seperti yang tampak pada Gambar 4.18 untuk mengetahui kecenderungan aliran *non uniform* yang mungkin terjadi. Elevasi 0 d memiliki nilai rata-rata vortisitas sebesar 0.096. Elevasi 0.5 d memiliki nilai rata-rata vortisitas sebesar 0.143. Nilai vortisitas sebesar 1.375 pada elevasi 2 cm di bawah pompa hasil tersebut jauh lebih rendah bila dibandingkan model skenario 2 yang memiliki kesamaan anti vorteks serta model skenario 4 yang memiliki kesamaan kedalaman air.



**Gambar 4.17** Distribusi kecepatan kanal skenario MSL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

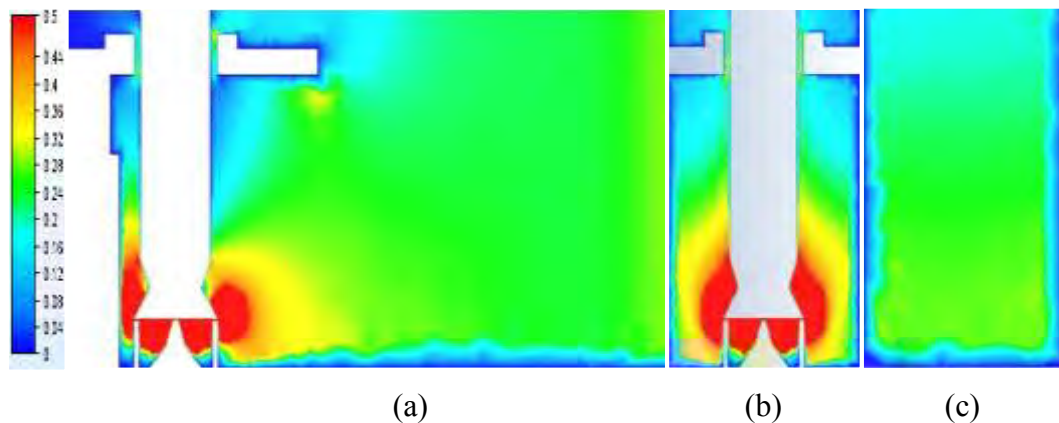




**Gambar 4.18** Distribusi vortisitas kanal skenario MSL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

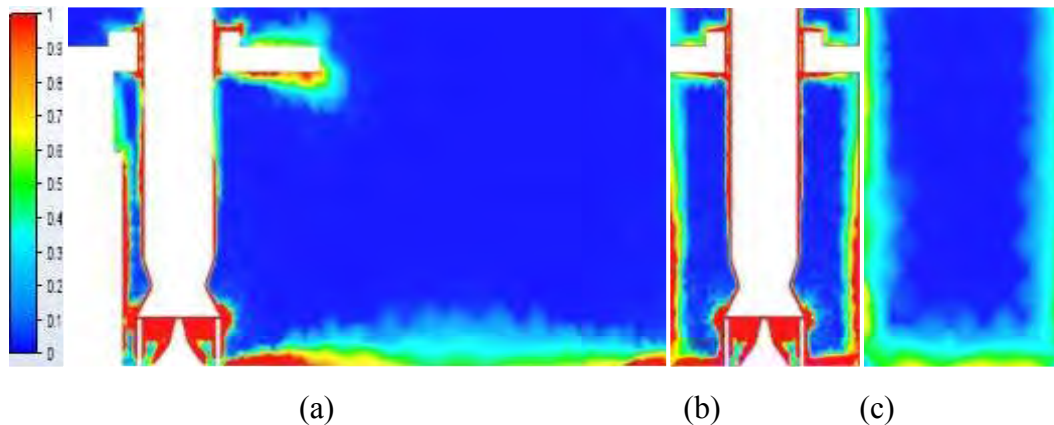
#### 4.5.6 Skenario 6 : Kanal *Intake* AVD 2 Elevasi 6.67 m (MSL)

Pada skenario ke 6 seperti yang tampak pada Gambar 4.19 memiliki kedalaman air sebesar 6.67 m dengan struktur anti vorteks ke dua (AVD 2). Pada elevasi 0 d sebesar 0.152 m/s, elevasi 0.5 d sebesar 0.219 m/s dan pada elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 1.362 m/s. Pada kanal *intake*, aliran air menuju pompa masih memenuhi rekomendasi HI yakni sebesar 0.5 m/s. Namun kecepatan meningkat akibat bentuk geometri anti vorteks 2 hingga sebesar 42.458 m/s. Kecepatan pada *intake* bell sebesar 2.55 m/s.



**Gambar 4.19** Distribusi kecepatan kanal skenario MSL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

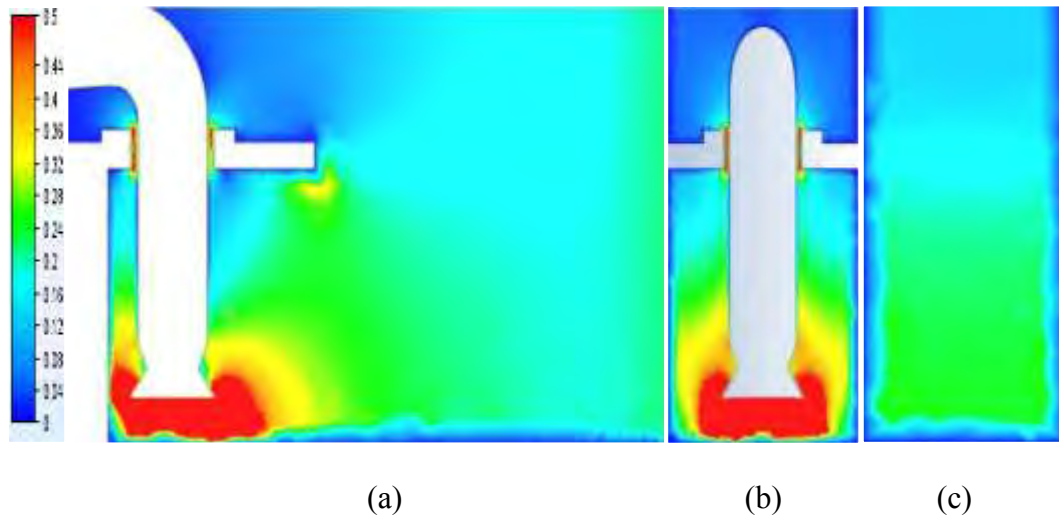
Pengukuran rata-rata nilai vortisitas terhadap model pada elevasi 0 d sebesar 0.102. Pada elevasi 0.5 d nilai rata-rata vortisitas sebesar 0.148. Bentuk geometri dari anti vorteks pada skenario ke 6 seperti tampak pada Gambar 4.20 memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan rata-rata nilai vortisitas menjadi sebesar 19.035. Nilai tersebut lebih kecil dari skenario 3, menunjukkan kecenderungan vortisitas menurun bila kedalaman air bertambah.



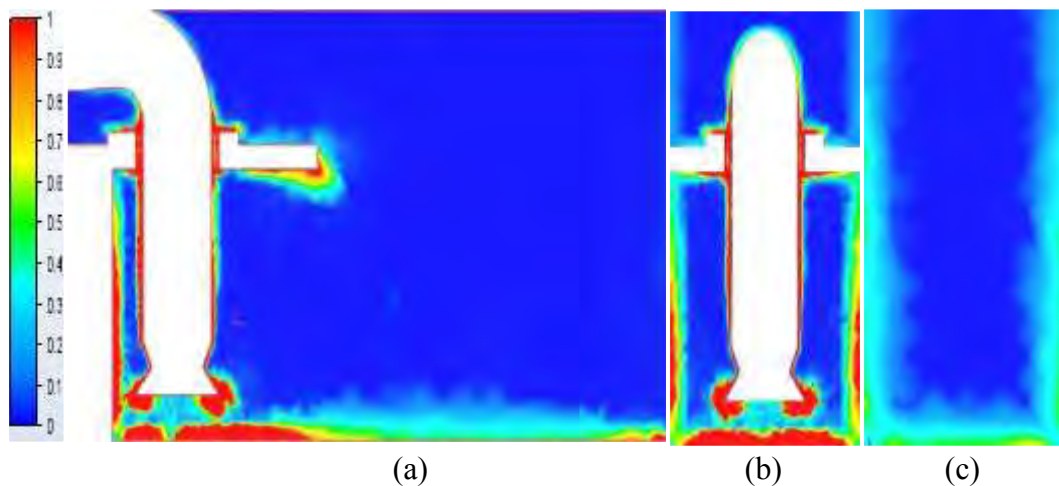
**Gambar 4.20** Distribusi vortisitas kanal skenario MSL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

#### 4.5.7 Skenario 7 : Kanal *Intake* non AVD Elevasi 8.67 m (HHWL)

Pada skenario ke 7 model uji tampak pada Gambar 4.21 memiliki kedalaman air sebesar 8.67 m tanpa anti vorteks. Pada elevasi 0 d pola aliran yang terbentuk memiliki kecepatan rata-rata sebesar 0.098 m/s, pada elevasi 0.5 d sebesar 0.174 m/s dan pada elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 0.406 m/s. Kecepatan pada *intake* bell terukur sebesar 2.603 m/s, merupakan yang tertinggi diantara model skenario dengan kedalaman 8.67 m. Pengukuran rata-rata nilai vortisitas juga dilakukan dengan hasil tampak pada Gambar 4.22 pada elevasi 0 d memiliki nilai sebesar 0.057 dan pada elevasi 0.5 d sebesar 0.114. Sedangkan nilai rata-rata vortisitas pada elevasi 2 cm di bawah pompa sebesar 1.271.



**Gambar 4.21** Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

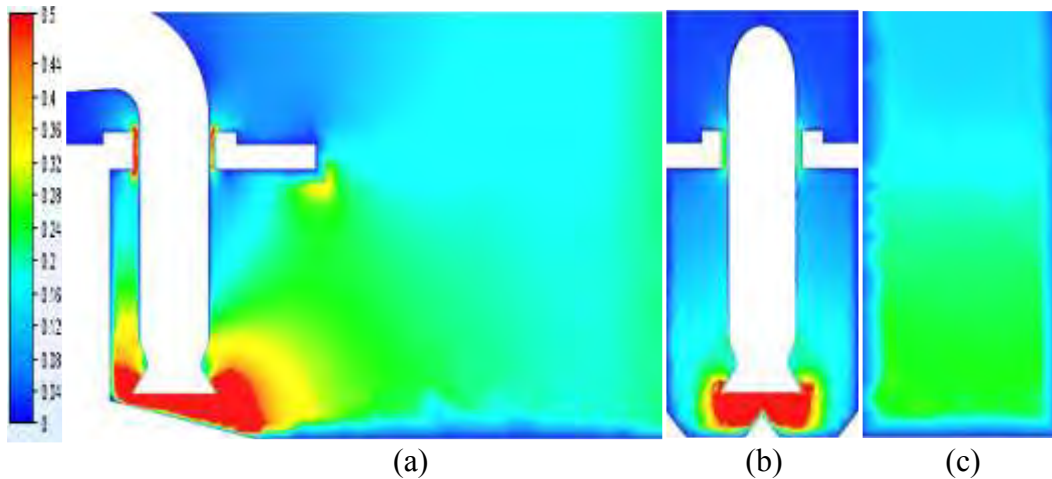


**Gambar 4.22** Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL non AVD (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

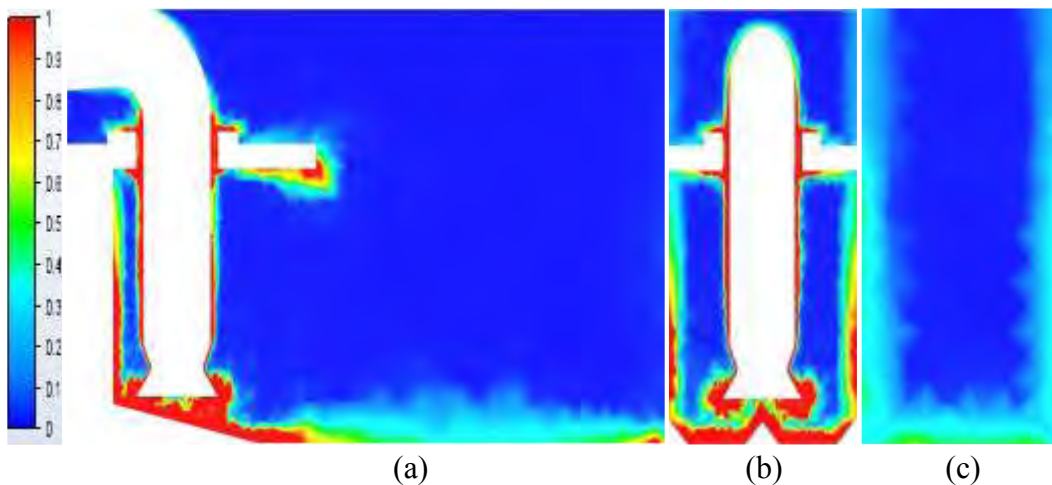
#### 4.5.8 Skenario 8: Kanal *Intake* AVD 1 Elevasi 8.67 m (HHWL)

Pada scenario ke 8 model memiliki elevasi air sebesar 8.67 m dengan anti vorteks jenis ke 1. Pengukuran kecepatan aliran di dalam kanal dilakukan terhadap model dengan hasil tampak pada Gambar 4.23 yakni pada elevasi 0 d kecepatan rata-rata sebesar 0.099 m/s dan pada elevasi 0.5 d sebesar 0.174 m/s. Pada elevasi 2 cm di bawah pompa kecepatan rata-rata aliran lebih besar yakni 0.414 m/s. Rata-rata kecepatan aliran pada inet bell sebesar 2.559 m/s. Pengukuran rata-rata nilai

vortisitas juga dilakukan dengan hasil tampak pada Gambar 4.24 dimana pada elevasi 0.d memiliki nilai sebesar 0.057 dan pada elevasi 0.5 d sebesar 0.114. Rata-rata nilai vortisitas pada elevasi 2 cm di bawah pompa meningkat menjadi 1.271. Besar nilai vortisitas pada 0.9 d pada skenario 7 memiliki nilai lebih rendah daripada skenario 8. Kecenderungan ini berkebalikan dibandingkan skenario 4 yang memiliki nilai lebih tinggi daripada skenario 5.



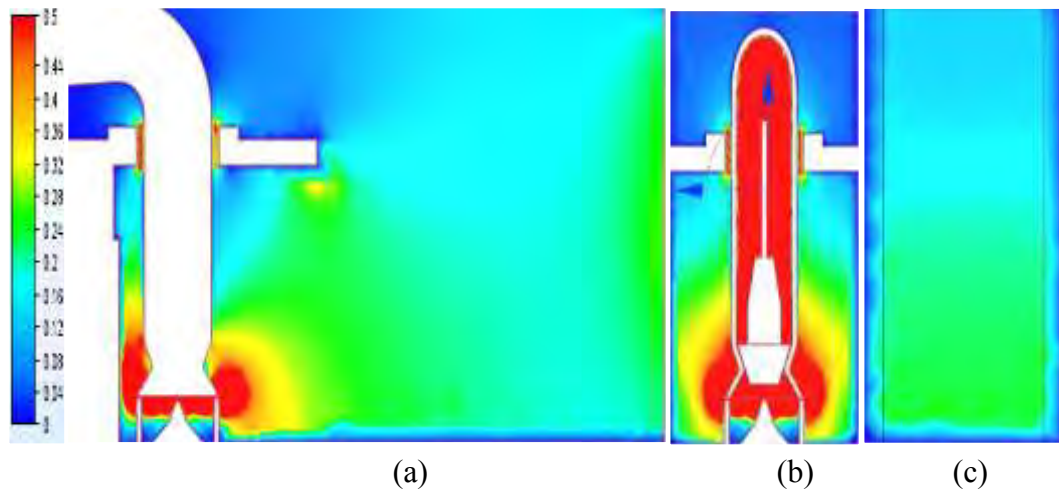
**Gambar 4.23** Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal



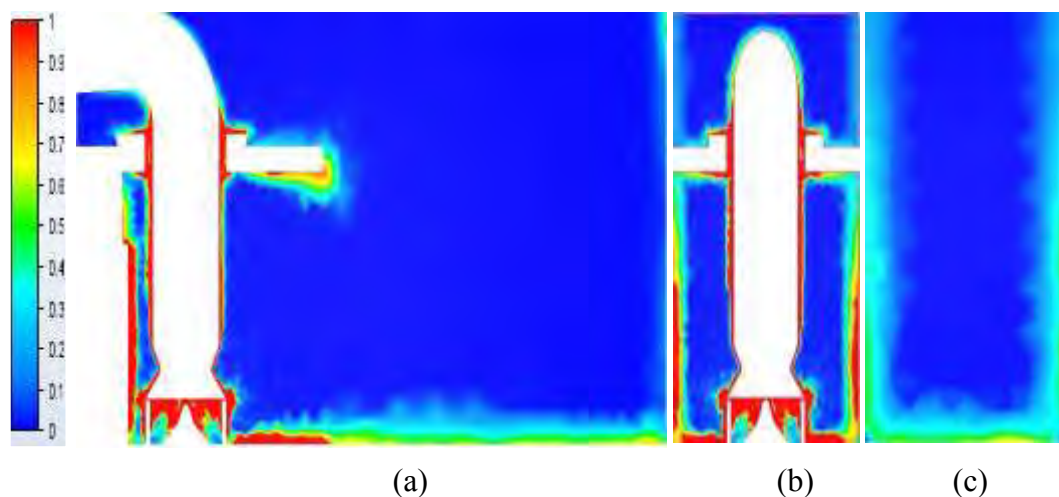
**Gambar 4.24** Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL AVD 1 (a) tampak samping (b) tampak depan pada bagian pompa (c) tampak depan pada bagian tengah kanal

#### 4.5.9 Skenario 9: Kanal *Intake* AVD 2 Elevasi 8.67 m (HHWL)

Pada scenario ke 9 model kanal *intake* memiliki elevasi air 8.67 m dengan anti vorteks tipe 2. Pada kanal kecepatan rata-rata aliran diukur dengan hasil tampak pada Gambar 4.25 dimana pada elevasi 0 d kecepatan sebesar 0.097 m/s dan pada elevasi 0.5 d sebesar 0.174 m/s. Pada elevasi 2 cm di bawah pompa rata-rata kecepatan aliran sebesar 1.358 m/s. Pada inlet bell aliran yang masuk ke pompa memiliki kecepatan sebesar 2.577 m/s. Pengukuran rata-rata nilai vortisitas pada elevasi 0 d sebesar 0.057. Pada elevasi 0.5 d memiliki nilai rata rata sebesar 0.114. Kecenderungan pengaruh geometri anti vorteks 2 tampak pada Gambar 4.26 memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai rata-rata vorticity pada elevasi 2 cm di



**Gambar 4.25** Distribusi kecepatan kanal skenario HHWL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan bagian pompa (c) tampak depan bagian tengah kanal



**Gambar 4.26** Distribusi vortisitas kanal skenario HHWL AVD 2 (a) tampak samping (b) tampak depan bagian pompa (c) tampak depan bagian tengah kanal



#### 4.6 Perbandingan Kecepatan Dan Vortisitas Pada Kanal *Intake*

Pada hasil simulasi dari tiap skenario, rata-rata kecepatan dan vortisitas yang terukur dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi desain terhadap aliran fluida. Pengukuran hasil dilakukan setelah 6000 iterasi (600 step) pada tiga elevasi ukur yakni di permukaan air, pada setengah dari skenario kedalaman serta pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell*. Pada Tabel 4.2 di sajikan rangkuman hasil dari pengukuran kecepatan dan vortisitas.

**Tabel 4.2** Perbandingan Hasil Pengukuran Kecepatan dan Vortisitas

Skenario		Kecepatan				Vortisitas		
		A	B	C	Inlet bell	A	B	C
LLWL	Non AVD	0.263	0.298	0.492	2.567	0.158	0.191	0.288
	AVD 1	0.266	0.300	0.504	2.622	0.161	0.197	1.383
	AVD 2	0.267	0.307	1.423	2.526	0.166	0.204	19.092
MSL	Non AVD	0.155	0.214	0.447	2.568	0.100	0.157	1.644
	AVD 1	0.142	0.214	0.430	2.538	0.096	0.143	1.375
	AVD 2	0.152	0.219	1.362	2.550	0.102	0.148	19.035
HHWL	Non AVD	0.099	0.174	0.406	2.603	0.057	0.114	1.271
	AVD 1	0.099	0.174	0.414	2.559	0.060	0.115	1.263
	AVD 2	0.098	0.174	1.358	2.577	0.057	0.114	18.334

Keterangan tabel:

A = elevasi ukur permukaan air

B = elevasi ukur setengah skenario kedalaman yang berlaku

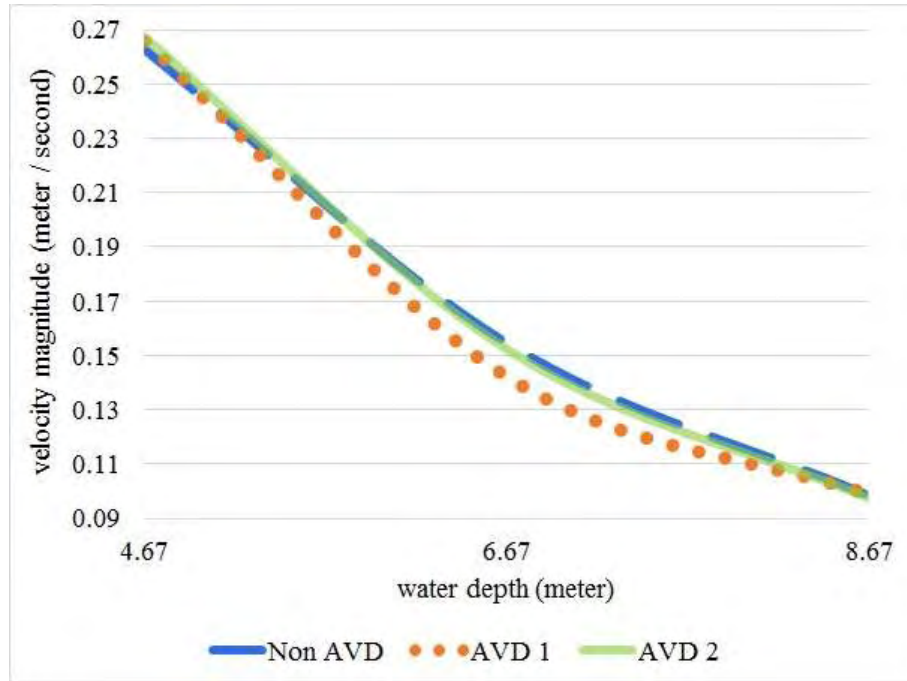
C = elevasi ukur 2 cm di bawah inlet bell

Satuan kecepatan dalam meter/second dan vortisitas dalam spin/second

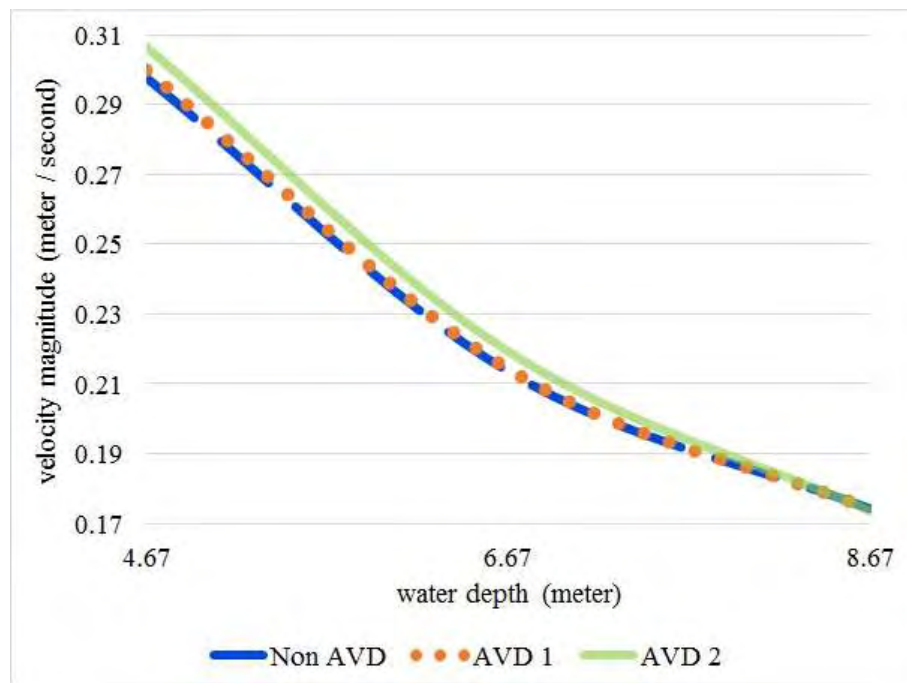
Pada Gambar 4.27 disajikan grafik hasil pengukuran rata-rata kecepatan pada permukaan air. Pada Gambar terlihat bahwa model anti vorteks 1 terlihat paling rendah pada saat skenario kedalaman air 8.67 m (MSL). Namun dari tiap model memiliki selisih kecepatan kurang dari 0.1 m/s. Sehingga pada elevasi ukur tersebut kurang dapat dilihat pengaruh variasi desain terhadap kecepatan aliran.

Begitu pula pada Gambar 4.28 yang merupakan grafik hasil pengukuran pada elevasi ukur setengah dari skenario kedalaman air yang berlaku, juga menunjukkan selisih rata-rata kecepatan yang kurang signifikan. Pengaruh variasi desain anti vorteks baru terlihat pada hasil pengukuran di kedalaman 2 cm dibawah

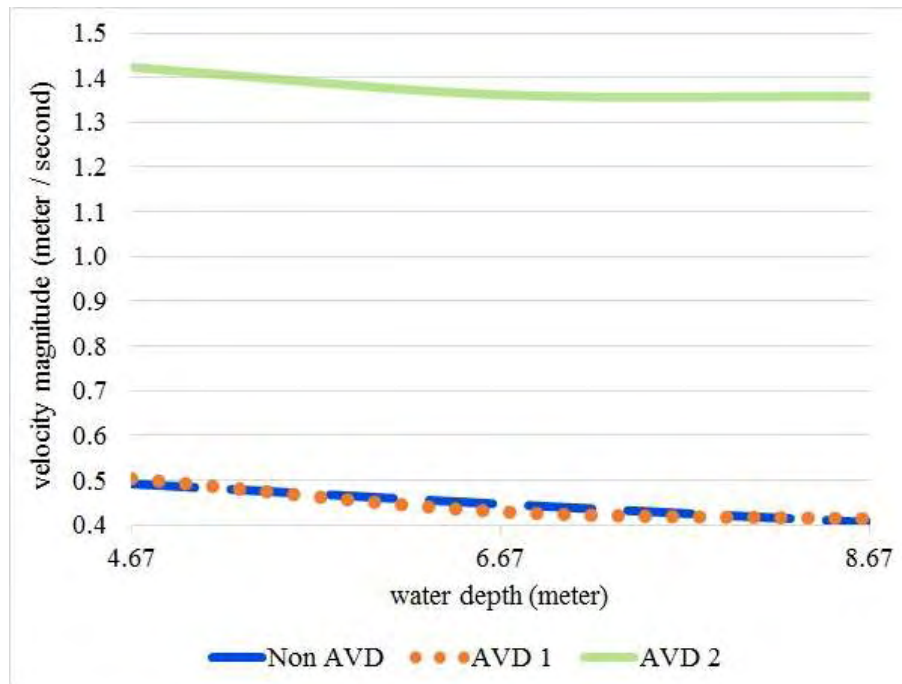
*inlet bell* yang dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.29 dimana desain anti vorteks 2 (ADV 2) membuat rata rata kecepatan yang terukur sangat tinggi di semua skenario kedalaman air.



**Gambar 4.27** Grafik rata-rata kecepatan dengan elevasi ukur pada 0 d



**Gambar 4.28** Grafik rata-rata kecepatan dengan elevasi ukur pada 0.5 d

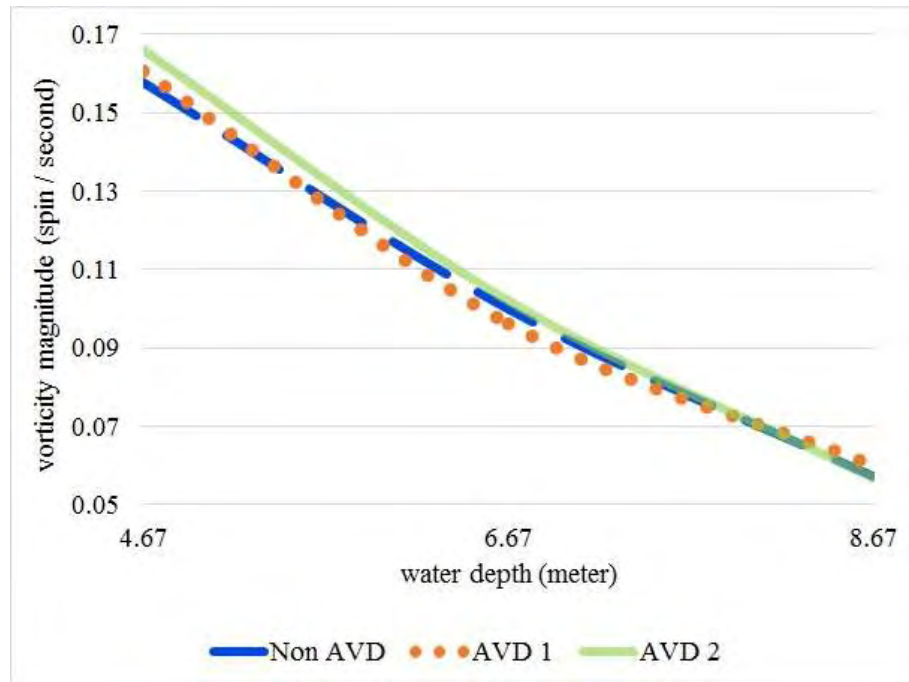


**Gambar 4.29** Grafik rata-rata kecepatan 2 cm di bawah *inlet bell*

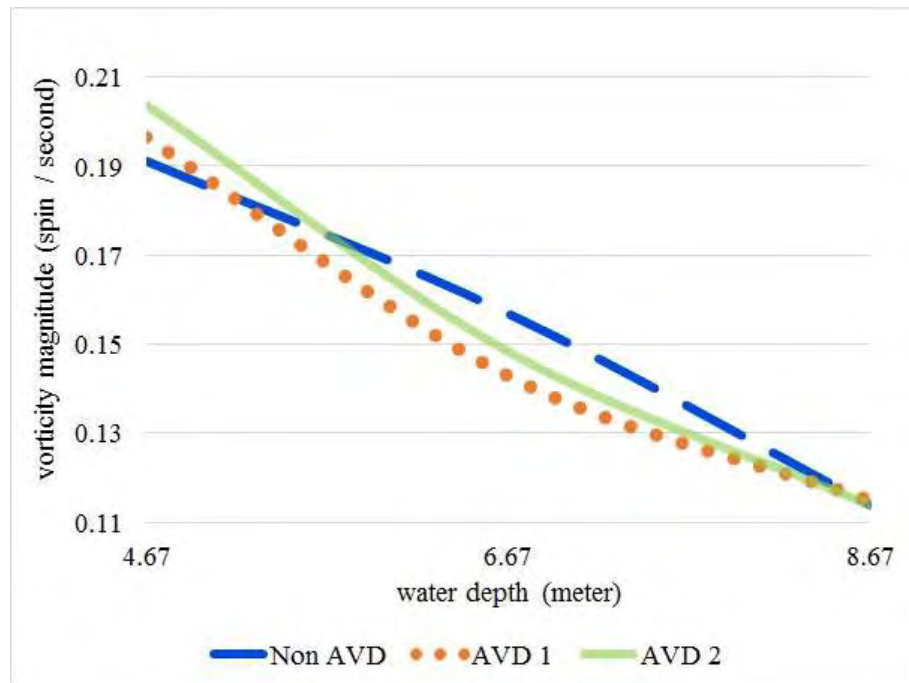
Pada hasil simulasi dari tiap skenario, rata-rata vortisitas yang terukur juga dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi desain terhadap aliran fluida. Pengukuran hasil dilakukan setelah 6000 iterasi (600 step) pada tiga elevasi ukur yakni di permukaan air, pada setengah dari skenario kedalaman serta pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell*. Pada Tabel 4.2 di sajikan rangkuman hasil dari pengukuran kecepatan dan vortisitas.

Pada Gambar 4.30 di sajikan grafik hasil pengukuran rata-rata vortisitas pada permukaan air. Diketahui bahwa dari tiap model memiliki selisih vortisitas kurang dari 0.1 spin/second sehingga kurang terlihat pengaruh variasi desain terhadap vortisitas aliran. Begitu pula pada Gambar 4.31 merupakan grafik hasil pengukuran pada setengah kedalaman juga menunjukkan selisih yang kurang signifikan. Pengaruh variasi desain anti vorteks baru terlihat pada hasil pengukuran di kedalaman 2 cm dibawah *inlet bell* yang dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.32 dimana desain anti vorteks 2 (ADV 2) membuat rata rata vortisitas yang terukur sangat tinggi di semua skenario kedalaman air.

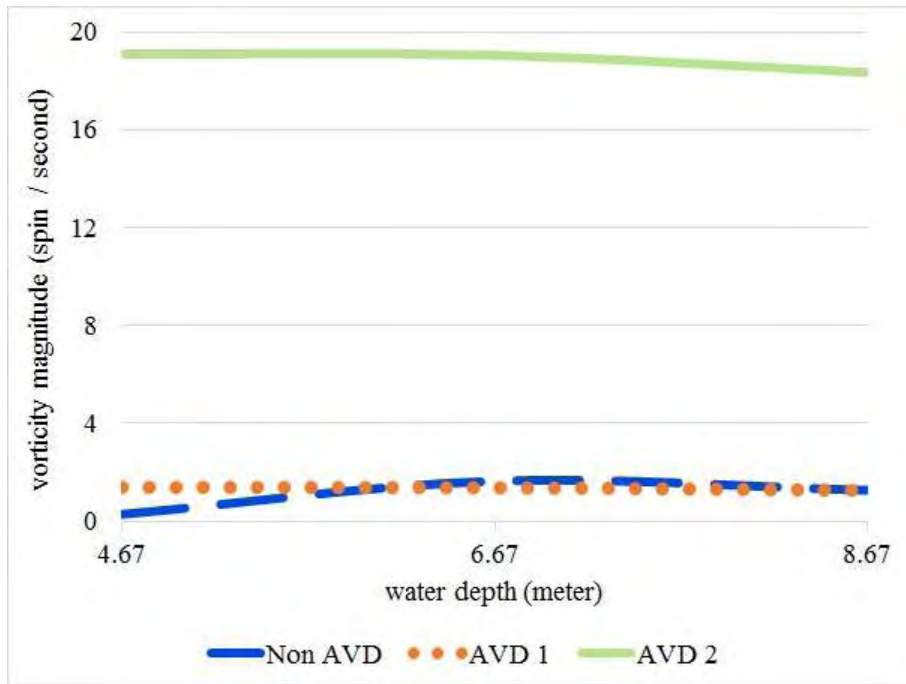




**Gambar 4.30** Grafik rata-rata vortisitas dengan elevasi ukur pada 0 d



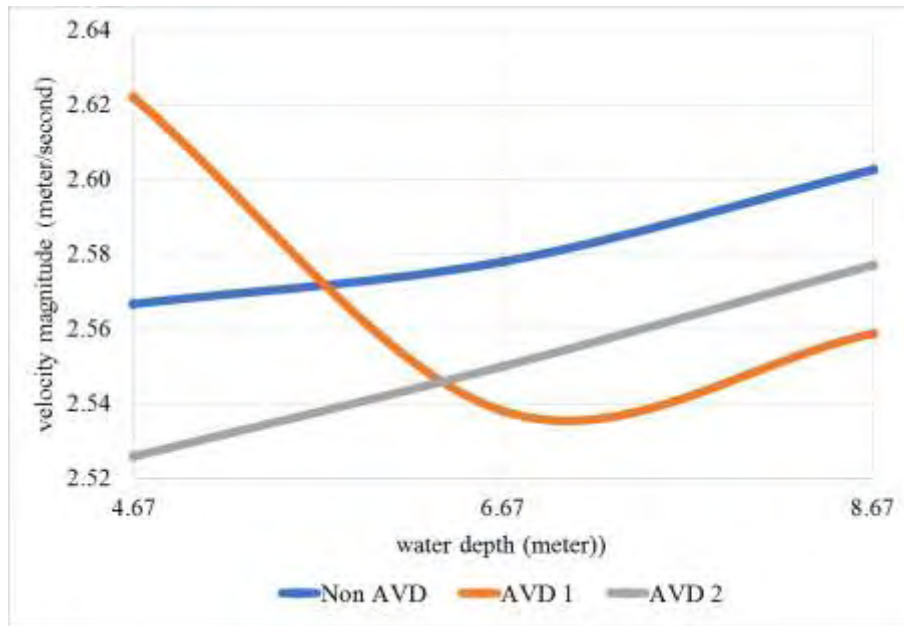
**Gambar 4.31** Grafik rata-rata vortisitas dengan elevasi ukur pada 0.5 d



**Gambar 4.32** Grafik rata-rata vortisitas pada 2 cm di bawah *inlet bell*

#### 4.7 Perbandingan Kecepatan di *Inlet Bell* Pada Desain

Untuk mengetahui pengaruh desain anti vorteks terhadap efektifitas aliran yang masuk ke pompa maka dilakukan pengukuran kecepatan aliran setelah 6000 iterasi (600 step) pada lokasi *inlet bell* kemudian hasilnya dibandingkan. Terlihat pada Gambar 4.33 bahwa kecepatan tertinggi saat kedalaman 4.67 meter (LLWL) dicapai oleh model dengan anti vorteks 1 (AVD 1) sedangkan pada kedalaman 6.67 meter (MSL) dan 8.67 meter (HHWL) dicapai oleh model yang tanpa dilengkapi anti vorteks (Non AVD). Sebaliknya Kecepatan terendah saat kedalaman 4.67 meter (LLWL) dicapai oleh model dengan anti vorteks 2 (AVD 2) sedangkan pada kedalaman 6.67 meter (MSL) dan 8.67 meter (HHWL) dicapai oleh model anti vorteks 1 (AVD 1).



**Gambar 4.33** Grafik rata-rata kecepatan pada *inlet bell*

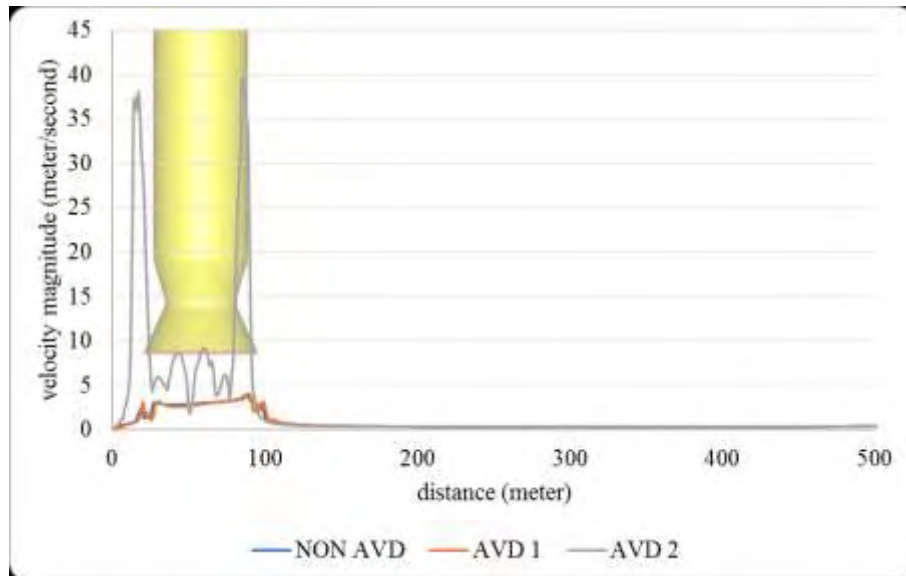
#### 4.8 Pengaruh Geometri Desain Terhadap Kecepatan dan Vortisitas

Pola aliran di kanal *intake* pola aliran perlu untuk dikondisikan selalu seragam agar tidak terjadi gangguan terhadap kinerja pompa. Pencegahan aliran tidak seragam menurut HI dilakukan melalui rancangan struktur dan geometri kanal *intake* agar kecepatan di kanal tidak melampaui 0.5 m/s (ANSI/HI, 1998). Selain itu jarak *inlet bell* terhadap permukaan air dan dinding *intake* juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi vorteks pada permukaan maupun bawah permukaan air. HI juga merekomendasikan perbaikan pola aliran dapat dilakukan dengan mengadopsi peranti anti vorteks untuk membantu meminimalkan resiko terbentuknya vorteks. Pada model kanal *intake* yang disimulasikan, pengukuran pengaruh anti vorteks terhadap pola aliran yang menuju pompa diketahui dengan melihat grafik yang terbentuk dari parameter kecepatan dan vortisitas.

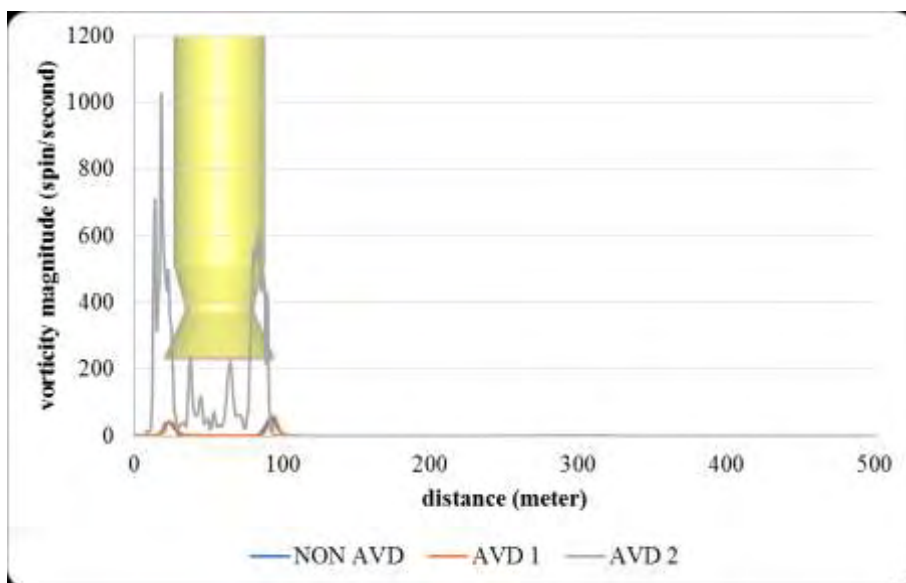
##### 4.8.1 Pengaruh Desain Anti vorteks Elevasi 4.67 m (LLWL)

Pada model dengan kedalaman air 4.67 m (LLWL) melalui Gambar 4.34 hingga Gambar 4.37 diketahui bahwa geometri anti vorteks 2 memiliki pengaruh signifikan sehingga kecepatan dan vortisitas aliran yang menuju pompa memiliki nilai yang besar bila dibandingkan dengan model lainnya. Sedangkan model dengan

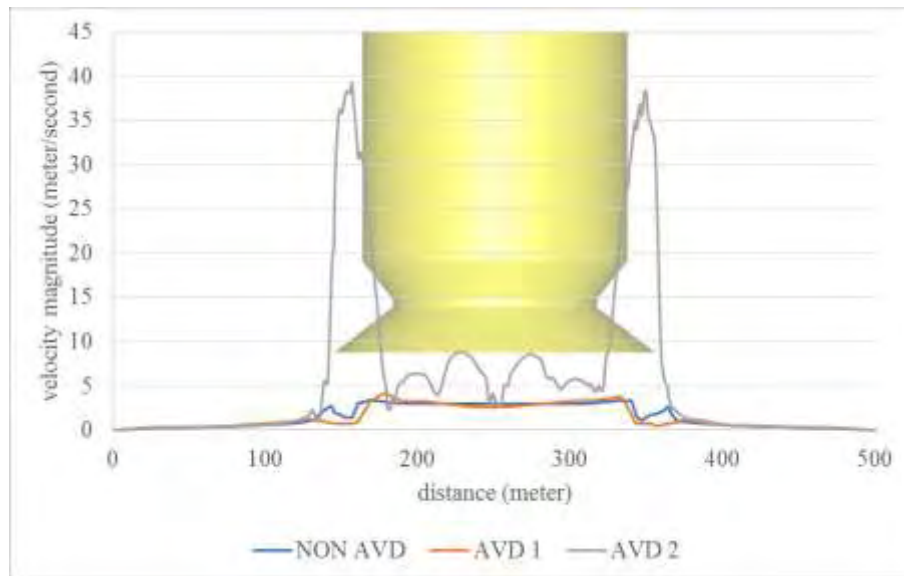
tanpa anti vorteks serta model dengan anti vorteks 1 hanya memiliki selisih yang kecil baik pada *x-direction* maupun pada *y-direction*.



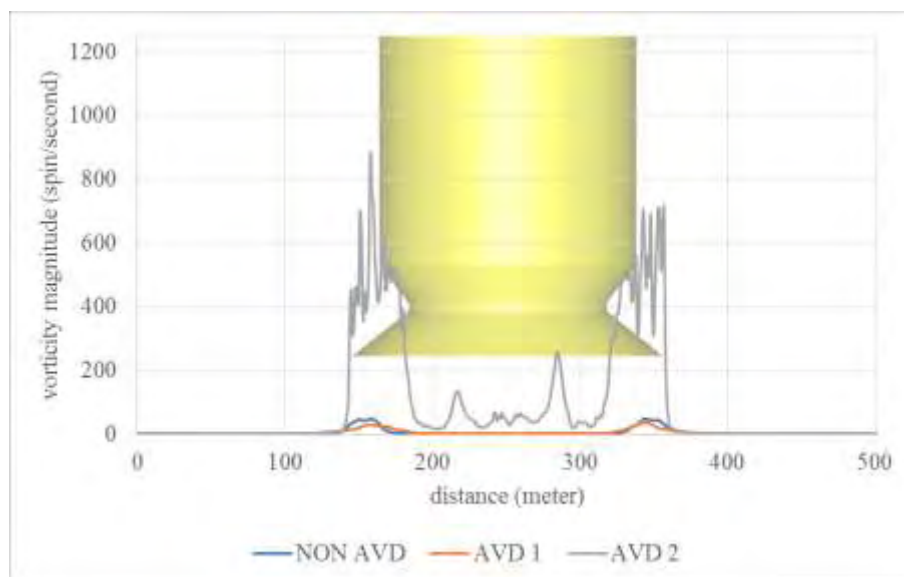
**Gambar 4.34** Grafik kecepatan LLWL pada x-direction



**Gambar 4.35** Grafik vortisitas LLWL pada x-direction



**Gambar 4.36** Grafik kecepatan LLWL pada y-direction



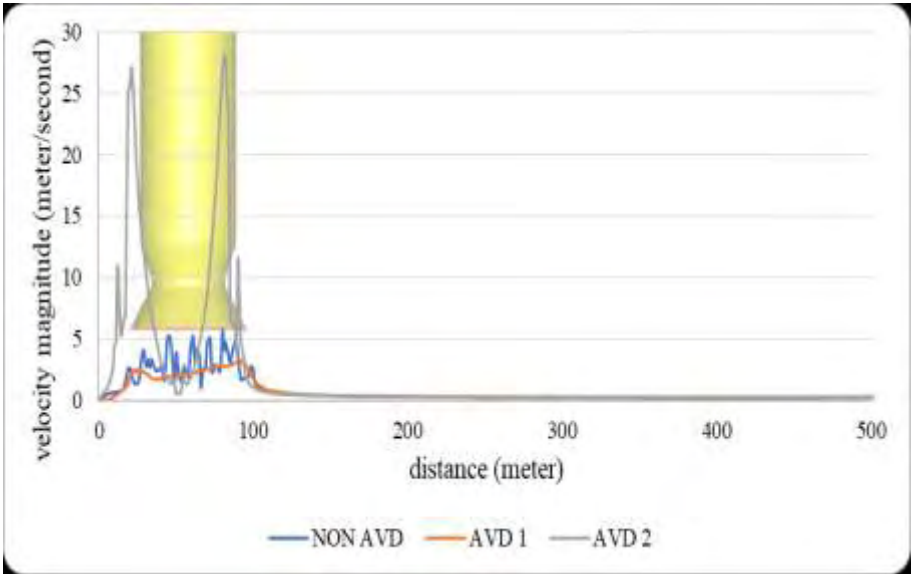
**Gambar 4.37** Grafik vortisitas LLWL pada y-direction

#### 4.8.2 Pengaruh Desain Anti vorteks Elevasi 6.67 m (MSL)

Pada model dengan kedalaman air 6.67 m (MSL) melalui Gambar 4.38 hingga Gambar 4.41 diketahui bahwa geometri anti vorteks 2 memiliki pengaruh signifikan sehingga kecepatan dan vortisitas aliran yang menuju pompa memiliki nilai yang besar bila dibandingkan dengan model lainnya. Kondisi ini serupa dengan apa yang terjadi pada skenario dengan kedalaman 4.67 m. Sedangkan model

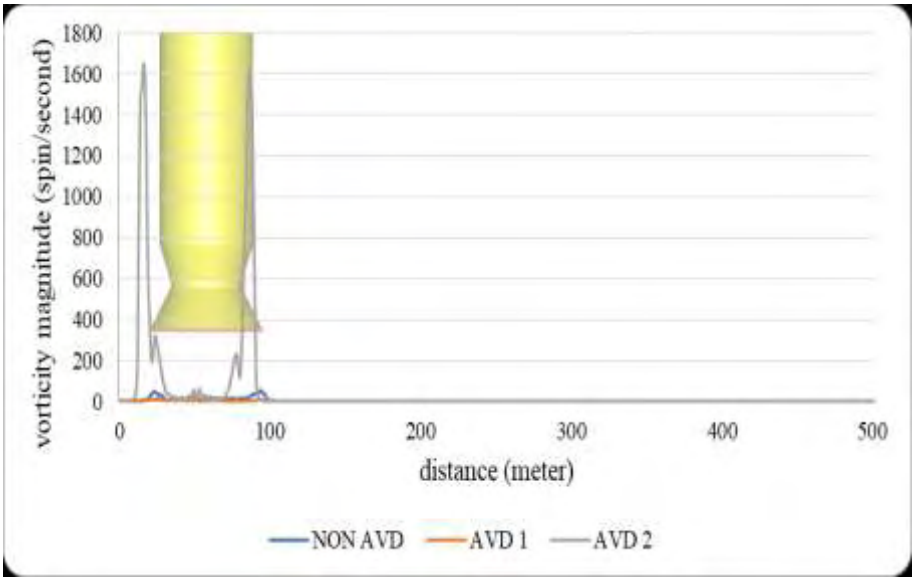
tanpa anti vorteks serta model dengan anti vorteks 1 hanya memiliki selisih yang kecil baik pada *x-direction* maupun pada *y-direction*.

Gambar  
4.38

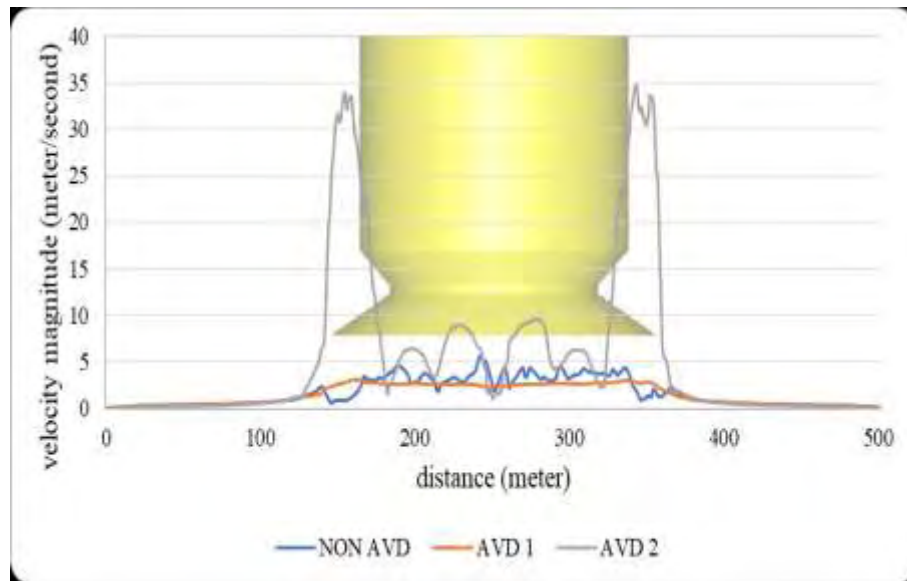


Grafik kecepatan MSL pada x-direction

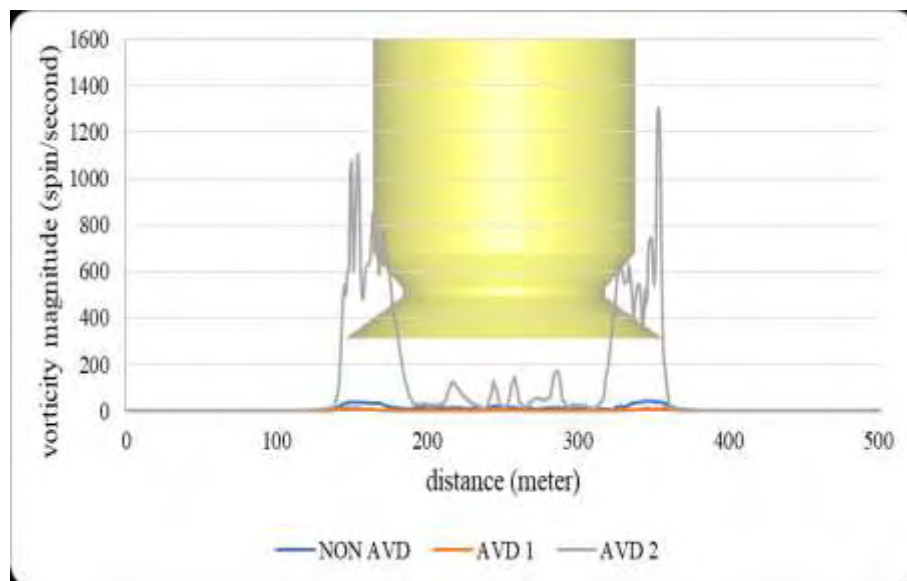
Gambar  
4.39



Grafik vortisitas MSL pada x-direction



**Gambar 4.40** Grafik kecepatan MSL pada y-direction

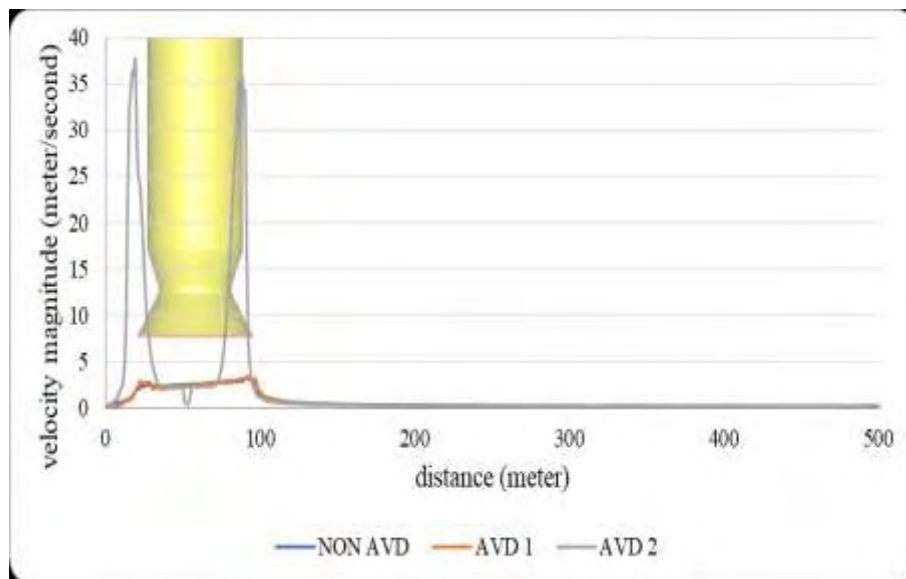


**Gambar 4.41** Grafik vortisitas MSL pada y-direction

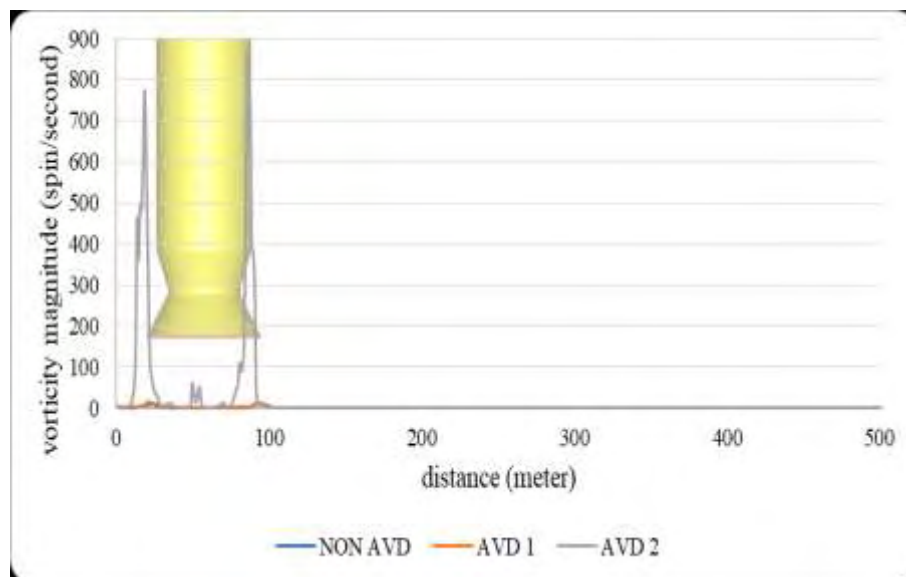
#### 4.8.3 Pengaruh Desain Anti vorteks Elevasi 6.67 m (HHWL)

Pada model dengan kedalaman air 8.67 m (HHWL) melalui Gambar 4.42 hingga Gambar 4.45 diketahui bahwa meskipun volume air pada kanal telah bertambah dan kecepatan aliran didalam kanal cenderung lebih kecil daripada model dengan kedalaman yang lebih rendah, pengaruh geometri anti vorteks 2 membuat kecepatan dan vortisitas aliran tetap bernilai tinggi ketika akan memasuki

*inlet bell*. Sedangkan model tanpa anti vorteks serta model dengan anti vorteks 1 hanya memiliki selisih yang kecil baik pada *x-direction* maupun pada *y-direction*.

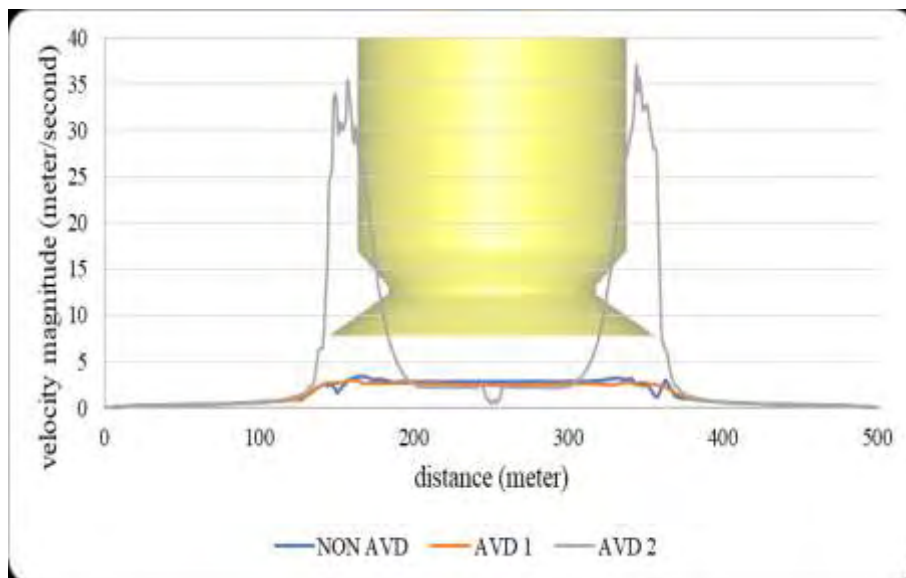


**Gambar 4.42** Grafik kecepatan HHWL pada x-direction

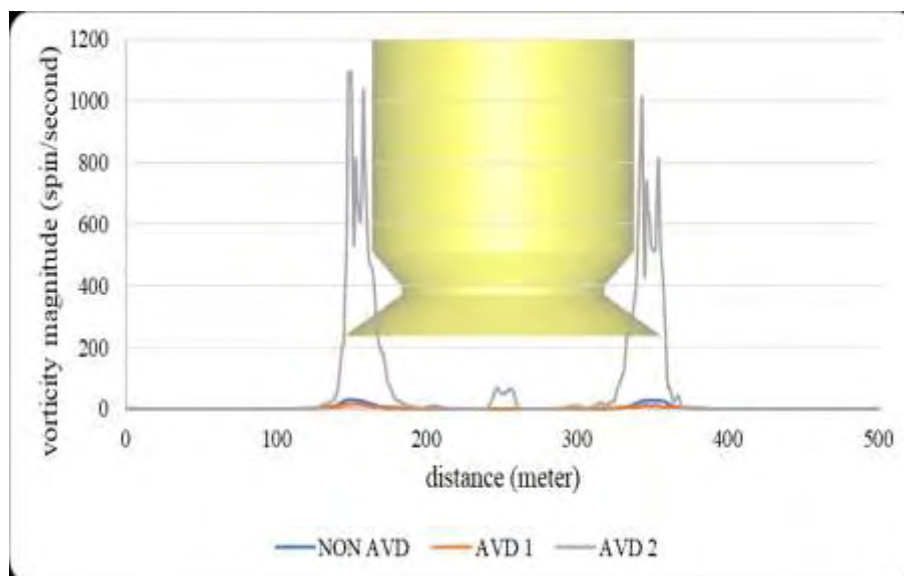


**Gambar 4.43** Grafik vortisitas HHWL pada x-direction





**Gambar 4.44** Grafik kecepatan HHWL pada y-direction



**Gambar 4.45** Grafik vortisitas HHWL pada y-direction

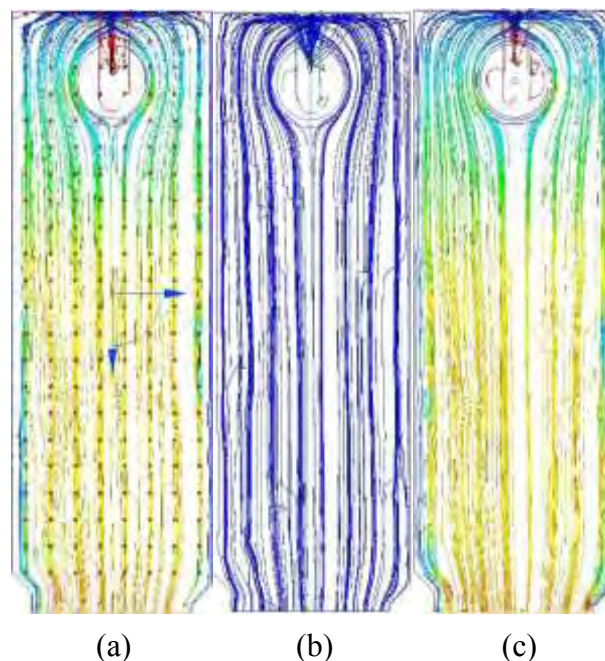
#### 4.9 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap *Surface* dan *Sub-surface* Vorteks dengan *Particke Tracing*

Pada bab 4.5 sampai 4.7 dijelaskan bahwa bentuk geometri dari peranti anti vorteks / peranti anti vorteks (AVD) sangat mempengaruhi profil kecepatan baik pada kanal maupun pada *inlet bell*. Perbedaan pengaruh tersebut terhadap aliran yang menuju pompa baik *x-direction* maupun *y-direction* dijelaskan lebih detail pada bab 4.8 melalui grafik berdasarkan posisi jarak titik aliran terhadap

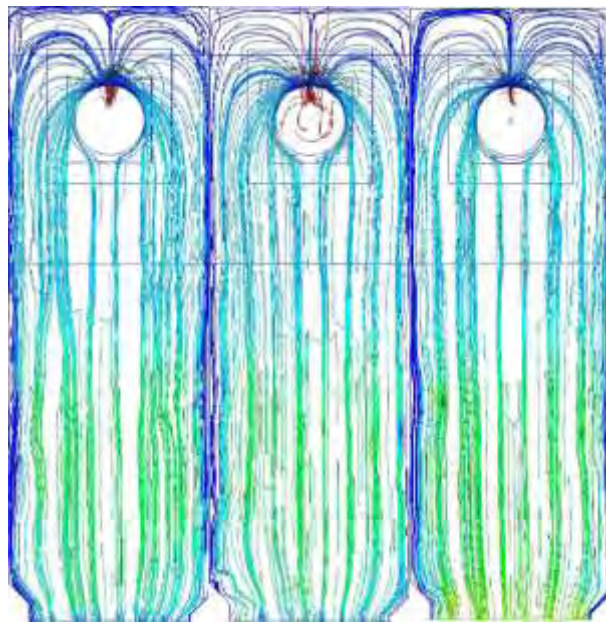
ujung kanal. Sedangkan kerentanan desain terhadap surface maupun sub surface vortex dapat diketahui dengan teknik *particle tracing* dari tiap model anti vorteks pada tiap kedalaman yang disimulasikan.

#### 4.9.1 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap *Surface Vorteks*

Untuk mengetahui apakah pada kanal intake terjadi fenomena vorteks di permukaan air maka dilakukan analisa terhadap pola aliran yang terjadi dengan teknik *particle tracing*. Teknik tersebut dilakukan dengan cara meletakkan titik-titik partikel pada permukaan yang akan dianalisa secara merata. Kemudian *algorithm* peranti lunak Autodesk CFD akan menganalisa jalur yang terbentuk dengan memetakan pergerakan partikel sesuai persamaan fluida yang berlaku. Aliran rotasional berupa vorteks maupun *swirl* akan terlihat sebagai puntiran air yang memisahkan diri dari pola aliran yang ada di sekitarnya. Melalui teknik *particle tracing* untuk skenario kedalaman air 4.67 m (LLWL) pada Gambar 4.46, Gambar 4.47 maupun Gambar 4.48 diketahui bahwa dari tiap variasi model pada tiap skenario kedalaman air, pola aliran pada permukaan air terlihat *uniform* dan tidak nampak adanya aliran rotasional yang mengindikasikan *free surface vorteks*.

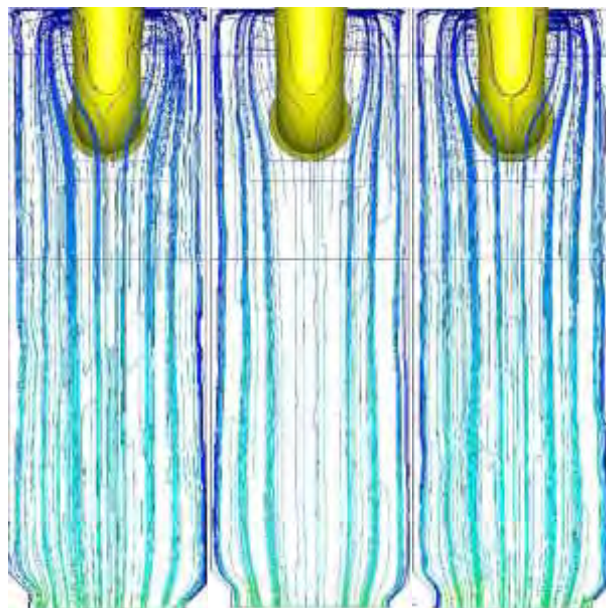


**Gambar 4.46** Hasil *surface particle tracing* LLWL pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2



(a) (b) (c)

**Gambar 4.47** Hasil *surface particle tracing* MSL pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2

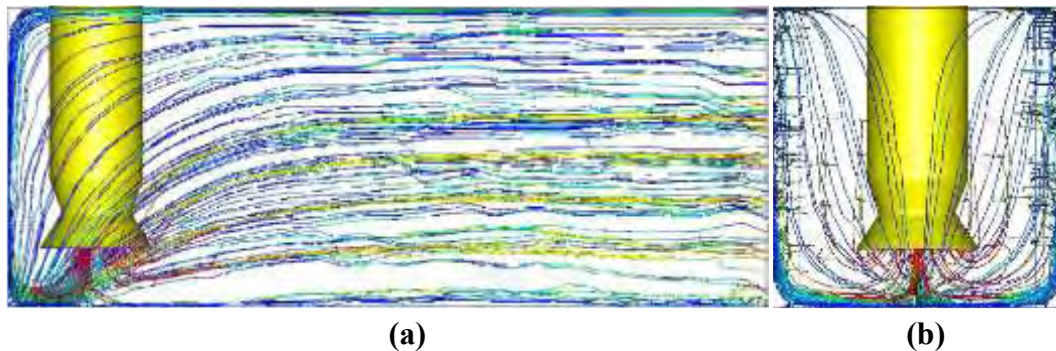


(a) (b) (c)

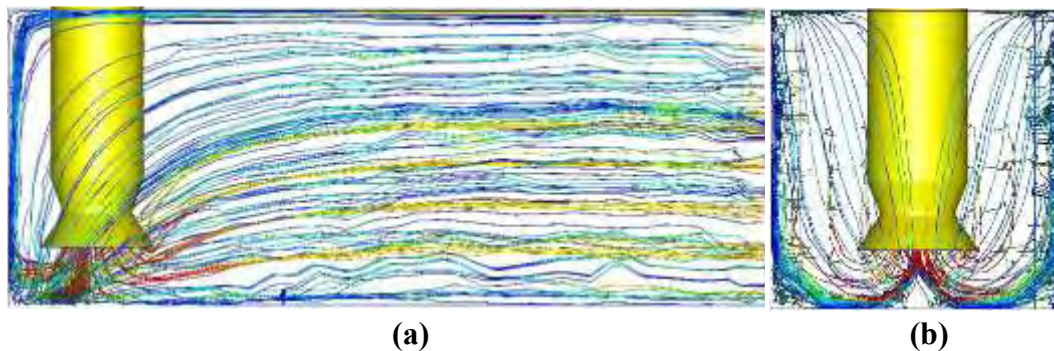
**Gambar 4.48** Hasil *surface particle tracing* HHWL pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2

#### 4.9.2 Penilaian Kerentanan Desain Terhadap *Sub-Surface* Vorteks

Vortex seringkali terjadi tidak hanya pada permukaan air saja namun juga di bawah permukaan air. Bentuk geometri kanal dapat memicu terjadinya pemisahan aliran dan memicu terjadinya *sub-surface* vorteks hingga kekuatan tertentu. Pada bab 4.6 hingga bab 4.8 telah dijelaskan secara detail pengaruh geometri kanal terhadap timbulnya aliran non uniform. Melakukan penilaian hanya dengan melakukan pengukuran kecepatan dan vortisitas tidak cukup karena kesimpulan yang didapat sekedar adanya aliran non uniform yang belum tentu berbentuk pusaran air berporos, dalam hal ini yang dimaksud adalah *sub-surface* vorteks. Untuk memastikan keberadaan *sub-surface* vorteks maka digunakan teknik *particle tracing* untuk melihat pola yang terbentuk di bawah permukaan air. Teknik tersebut dilakukan dengan cara meletakkan titik-titik partikel pada empat sisi pompa di sekitar *inlet bell* secara merata. Kemudian *algorithm* peranti lunak Autodesk CFD akan menganalisa jalur yang terbentuk dengan memetakan pergerakan partikel sesuai persamaan fluida yang berlaku.

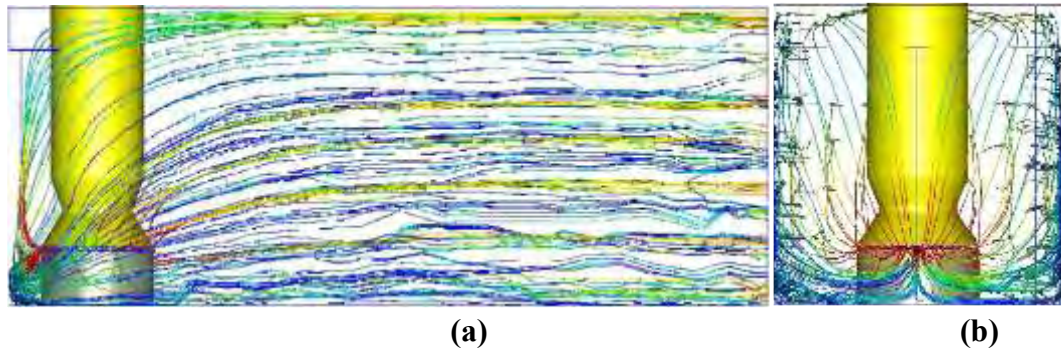


**Gambar 4.49** Hasil *sub surface particle tracing* LLWL Non AVD dengan (a) tampak samping (b) tampak depan

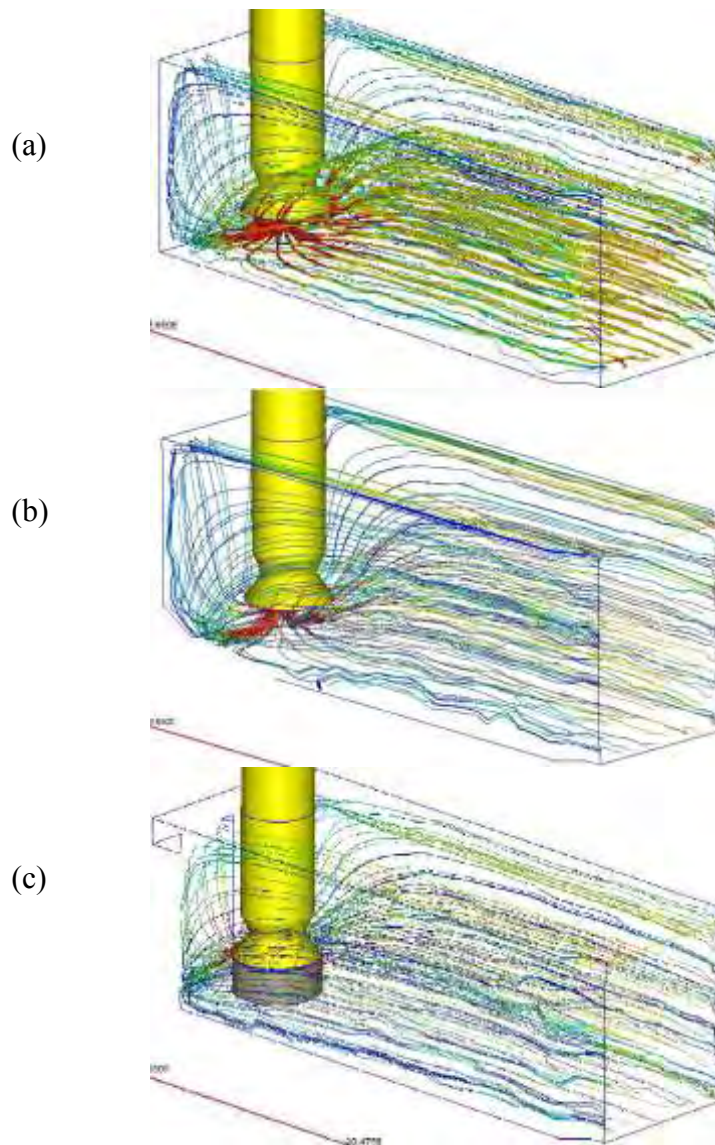


**Gambar 4.50** Hasil *sub surface particle tracing* LLWL AVD 1 dengan (a) tampak samping (b) tampak depan



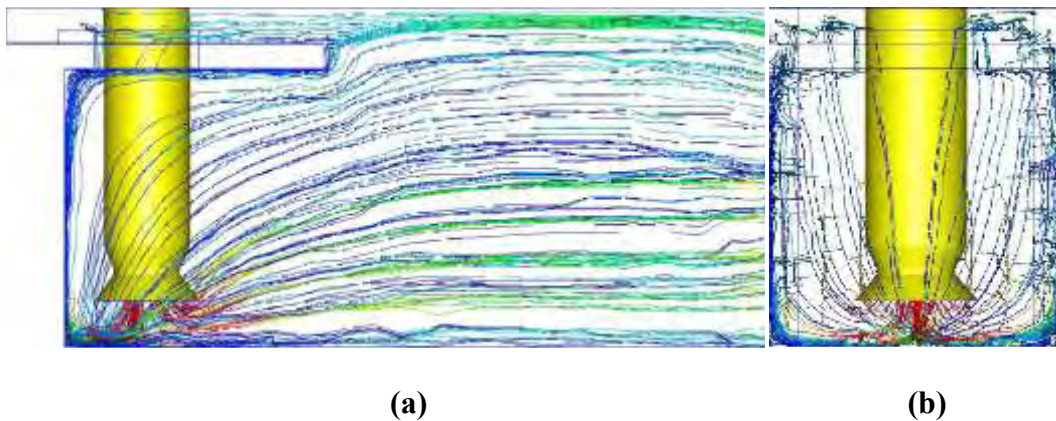


**Gambar 4.51** Hasil *sub surface particle tracing* LLWL AVD 2 dengan (a) tampak samping (b) tampak depan

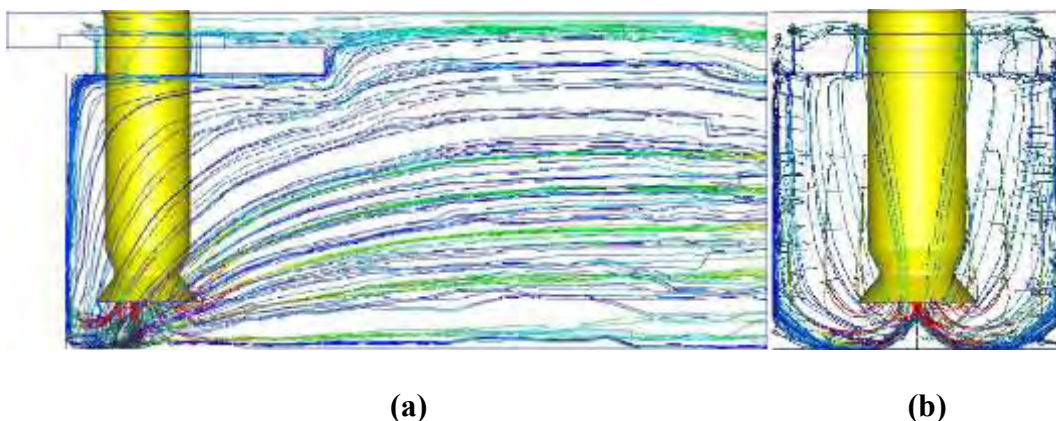


**Gambar 4.52** Hasil *sub surface particle tracing* LLWL tampak diagonal pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2

Melalui teknik *particle tracing* diketahui bahwa pada Gambar 4.49, Gambar 4.50 maupun Gambar 4.51 diketahui bahwa dari tiap variasi model pada skenario kedalaman air 4.67 meter (LLWL) pola aliran yang terbentuk pada sekitar pompa terlihat *uniform*. Pada Gambar 4.52 terlihat air yang datang dari sisi tengah kanal cenderung lurus dan langsung masuk ke *inlet bell*. Namun untuk aliran yang datang dari sisi pinggir dekat dengan dinding kanal cenderung bergerak lebih lambat dan sedikit mengitari pompa sebelum masuk ke *inlet bell*. Sedangkan pada aliran yang terletak di belakang pompa yang bergerak paling lambat dan merupakan aliran yang berasal dari permukaan. Pada semua variasi model tidak nampak adanya aliran rotasional yang mengindikasikan *sub-surface* vorteks.

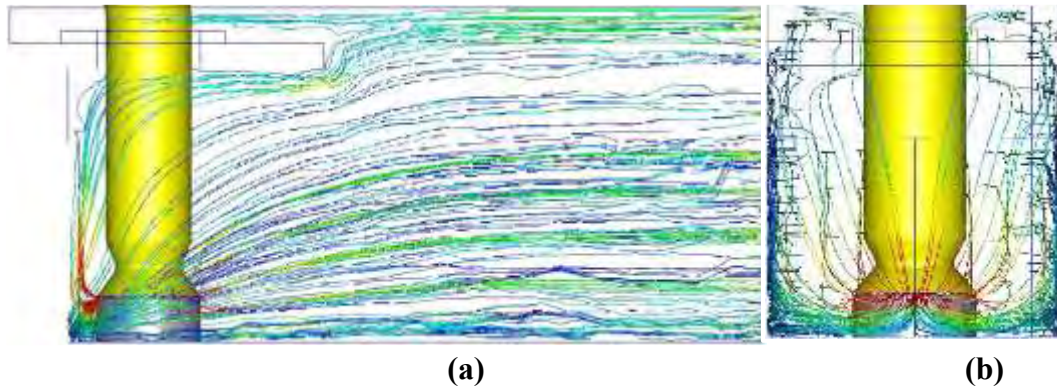


**Gambar 4.53** Hasil *sub surface particle tracing* MSL Non AVD dengan (a) tampak samping (b) tampak depan

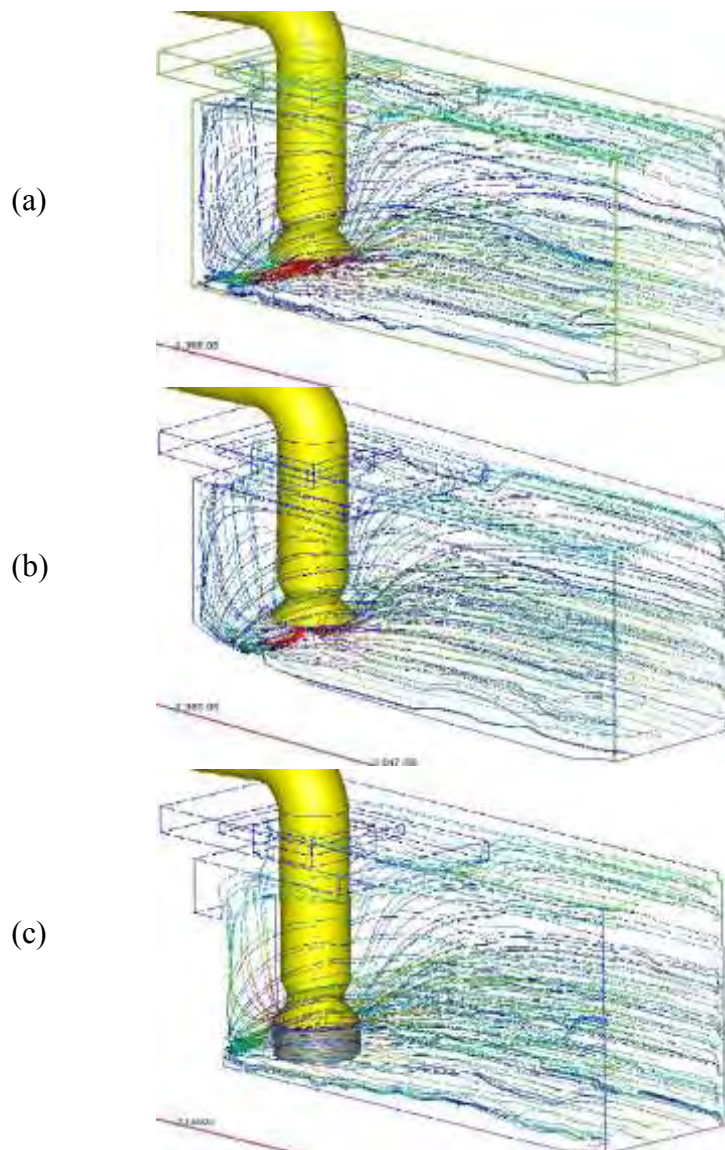


**Gambar 4.54** Hasil *sub surface particle tracing* MSL AVD 1 dengan (a) tampak samping (b) tampak depan



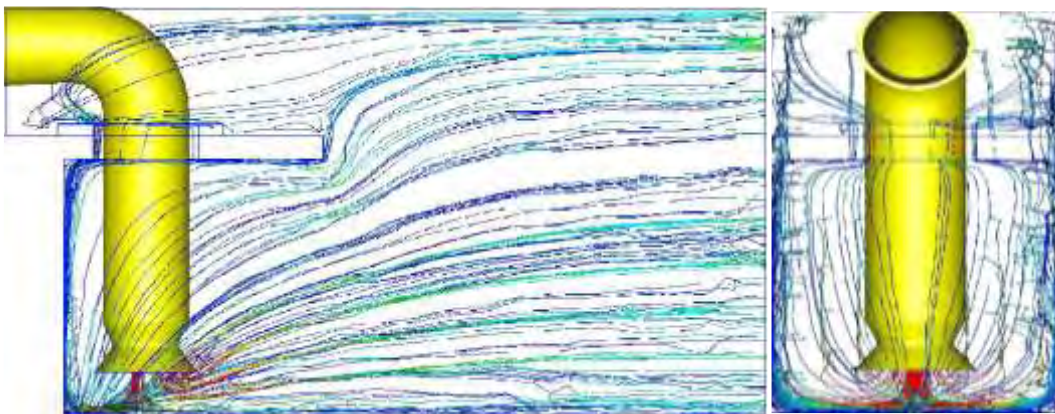


**Gambar 4.55** Hasil *sub surface particle tracing* MSL AVD 2 dengan (a) tampak samping (b) tampak depan



**Gambar 4.56** Hasil *particle tracing* MSL tampak diagonal pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2

Melalui teknik *particle tracing* diketahui bahwa pada Gambar 4.53, Gambar 4.54 maupun Gambar 4.55 diketahui bahwa dari tiap variasi model pada skenario kedalaman air 6.67 meter (MSL) pola aliran yang terbentuk pada sekitar pompa terlihat *uniform*. Air yang datang dari sisi tengah kanal cenderung lurus dan langsung masuk ke *inlet bell* sedangkan yang di sisi samping cenderung sedikit memutar terlebih dahulu, hal tersebut nampak pada Gambar 4.56. Pada skenario kedalaman 6.67 meter, semua variasi model tidak nampak adanya aliran rotasional yang mengindikasikan *sub-surface* vorteks.



(a)

(b)

**Gambar 4.57** Hasil *sub surface particle tracing* HHWL Non AVD dengan (a) tampak samping (b) tampak depan

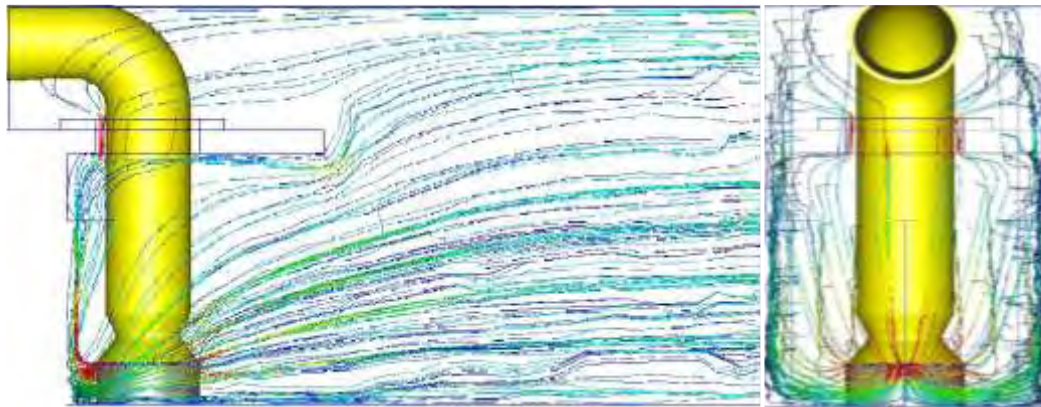


(a)

(b)

**Gambar 4.58** Hasil *sub surface particle tracing* HHWL Non AVD dengan (a) tampak samping (b) tampak depan



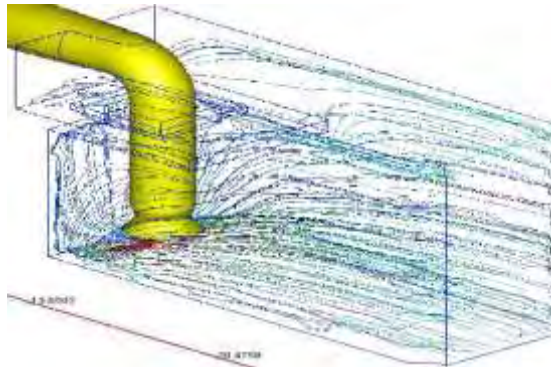


(a)

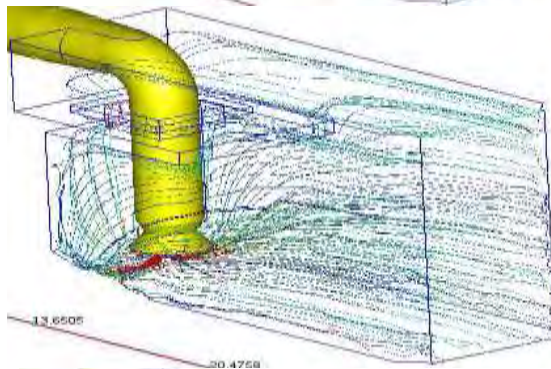
(b)

**Gambar 4.59** Hasil *sub surface particle tracing* HHWL Non AVD dengan (a) tampak samping (b) tampak depan

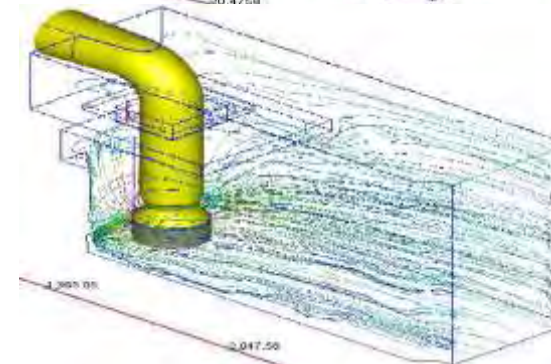
(a)



(b)



(c)



**Gambar 4.60** Hasil *sub surface particle tracing* HHWL tampak diagonal pada model (a) Non AVD (b) AVD 1 (c) AVD 2

Pada Gambar 4.57, Gambar 4.58 maupun Gambar 4.59 diketahui bahwa dari tiap variasi model pada skenario kedalaman air 6.67 meter (MSL) pola aliran yang terbentuk pada sekitar pompa cenderung *uniform*. Secara global pola aliran yang ada dapat dilihat pada Gambar 4.60 secara tampak diagonal. Selain itu semua variasi model tidak nampak adanya aliran rotasional yang mengindikasikan *sub-surface* vorteks. Analisa aliran dengan teknik *particle tracing* telah dilakukan pada semua variasi model pada semua skenario kedalaman dan hasil visual tidak memperlihatkan adanya *surface* maupun *sub surface* vorteks. Dengan demikian meskipun terdapat aliran non uniform yang terindikasi pada pengukuran nilai vortisitas namun tidak sampai menimbulkan aliran rotasional berbentuk pusaran air berporos baik berupa *surface* maupun *sub-surface* vorteks.

## **BAB V**

# **KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil simulasi komputasi dinamika fluida (CFD) pada *Cooling water intake* PLTGU Grati diperoleh beberapa kesimpulan sebagaimana berikut :

- a) Berdasarkan rekomendasi Hydraulic Institute kecepatan yang direkomendasikan di kanal *intake* adalah 0.5 m/s. Pada hasil simulasi hampir semua model memenuhi rekomendasi kecuali model dengan anti vorteks 2 yang rata-rata kecepatannya melampaui pada elevasi 2 cm dibawah inlet bell. Hal ini dipengaruhi oleh geometri anti vorteks ke 2. Pada perhitungan kecepatan di inlet bell pada semua skenario masih sesuai dengan rekomendasi kecepatan.
- b) Analisa perhitungan kecepatan dan vortisitas pada tiap elevasi dari tiap scenario kedalaman air yang disimulasikan serta analisa grafik dari lairan yang menuju ke pompa menunjukkan bahwa model dengan anti vorteks 1 kurang menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan model tanpa anti vorteks sehingga kurang efektif untuk dipakai. Selain itu meskipun terdapat aliran non uniform pada model simulasi namun pada analisa particle tracing tidak ditemukan *surface* maupun *sub surface* vorteks sehingga masih dalam kategori aman.

#### **5.1 Saran**

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, saran dari penulis bagi keberlanjutan penelitian kedepan adalah sebagaimana berikut :

- a) Melakukan penelitian terhadap variasi anti vorteks lainnya yang belum diteliti oleh penulis.
- b) Melakukan penelitian hingga mempertimbangkan efek pola aliran terhadap kinerja pompa
- c) Melakukan penelitian dengan mempertimbangkan faktor tegangan permukaan dalam mode simulasi *free surface*

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/HI, 1998. *American Nasional Standard For Pump Intake Design*, Parsippany: Hydraulic Institute.
- Autodesk Inc., 2015. *knowledge*. [Online] Available at: <https://knowledge.Autodesk.com/support/cfd/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/SimCFD/files/GUID-4DAF0D6D-F1F4-4E90-A9C8-5CACB85E79BE-htm.html> [Accessed 22 Februari 2018].
- Aybar, A., 2012. *Computational Modelling of Free Surface Flow In Intake Structures Using Flow 3D Peranti lunak*, s.l.: s.n.
- Blaszczyk, A., Adam Papierski, R. K. & Susik, M., 2012. Surface Vortices and Pressures in *Suction* Intakes of Vertical Axial-Flow Pumps. *Mechanic and Mechanical Engineering*, Volume 16, pp. 51-71.
- Johansson, A., Stacy, P., White, D. & Padmanabhan, M., 2005. *Advancements in Hydraulic Modeling of Cooling Water Pump Intakes in Power Plants*. Chicago, s.n., pp. 7-16.
- Kevin W. Linfield, P. P. & Robert G. Mudry, P., 2008. Pros and Cons of CFD and Physical Flow Modeling. Agustus.
- Kim, C. G., Choi, Y. D., Choi, J. W. & Lee, Y. H., 2012. *A study on the effectiveness of an anti vortex device in the sump model by experiment and CFD*. s.l., IOP Publishing.
- Liu, Z., 1998. *Sediment Transport*. s.l.:s.n.
- Nakato, T., 1990. *Hydraulic Model Study Of The Proposed Pump-Intake And Discharge Flume: Florida Power Corporation's Crystal River Helper Cooling-Tower Project*, Iowa City: IIHR Technical Report No. 339.
- Nakayama, Y., 1999. *Introduction to Fluid Mechanics*. s.l.:Butterworth-Heinemann.
- Suyanto, I. & Sutardi, 2006. Experimental Study On Cavitation Phenomena In A Centrifugal Pump Using Flow Visualitation And Vibration Analysis. *Majalah IPTEK*, 15 Nopember. Volume 17.

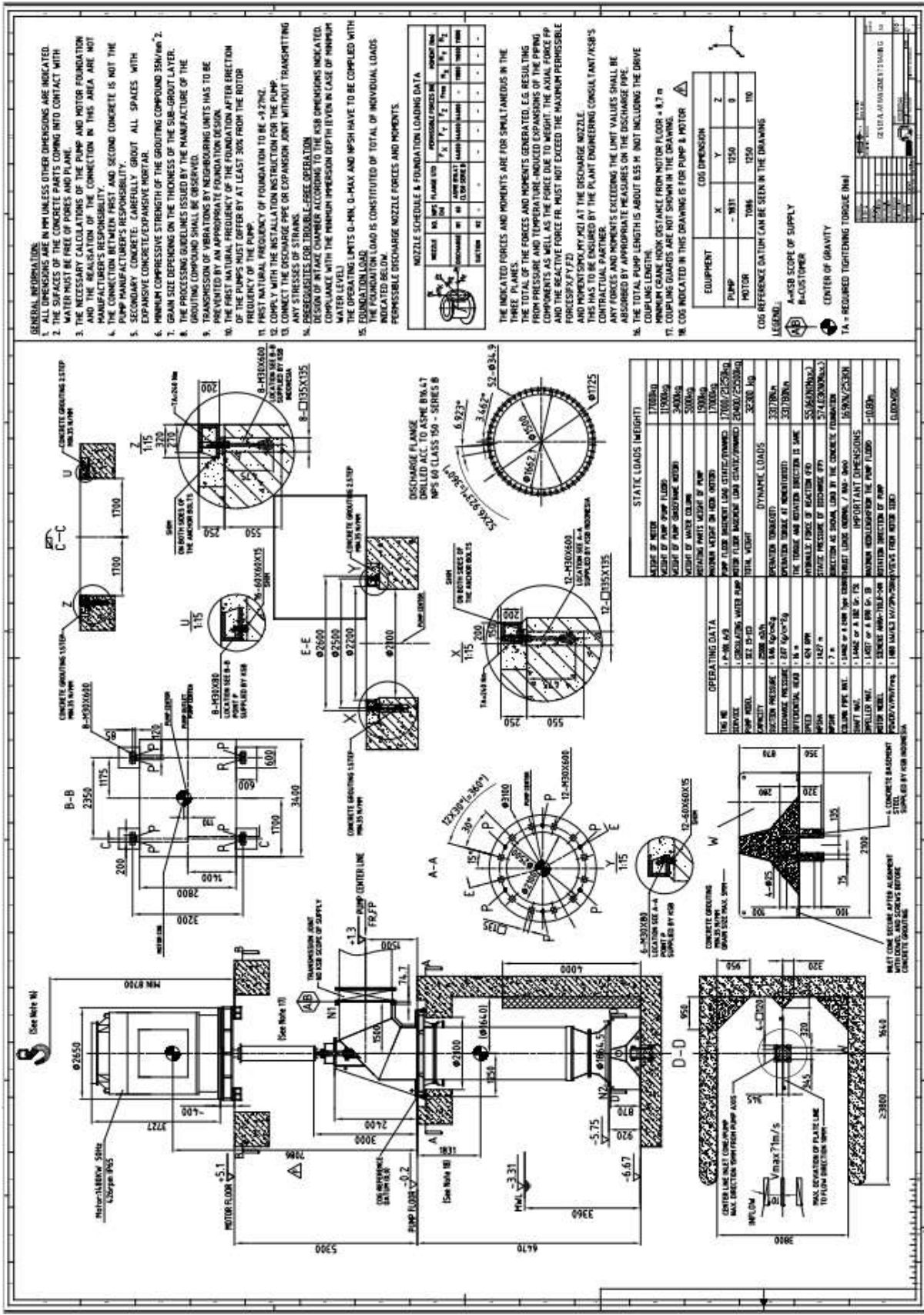
- Tawadee, M. S. & Maurya, R. S., 2015. Numerical Study of Flow Structure Developing Around Double Suction Pipe of a Pumping System. *Procedia Engineering*, Volume 127, pp. 809-815.
- Versteeg, H. K. & Malalasekera, W., 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*. 2nd ed. Harlow (Essex): Pearson Education Limited.



**LAMPIRAN A**  
**GAMBAR TEKNIK COOLING WATER**  
**INTAKE PLTGU GRATI**







- GENERAL INFORMATION:**
1. ALL DIMENSIONS ARE IN MM UNLESS OTHER DIMENSIONS ARE INDICATED.
  2. THE SURFACES OF THE CONCRETE PARTS COMING INTO CONTACT WITH WATER MUST BE FREE OF PORES AND PLANE.
  3. THE NECESSARY CALCULATION OF THE PUMP AND MOTOR FOUNDATION AND THE REALISATION OF THE CONNECTION IN THIS AREA ARE NOT MANUFACTURER'S RESPONSIBILITY.
  4. THE CONNECTION BETWEEN FIRST AND SECOND CONCRETE IS NOT THE RESPONSIBILITY OF THE MANUFACTURER.
  5. SECONDARY CONCRETE, CAREFULLY GROUT ALL SPACES WITH EXPANSIVE CONCRETE/EXPANSIVE MORTAR.
  6. MINIMUM COMPRESSIVE STRENGTH OF THE GROUTING COMPOUND 30 N/mm<sup>2</sup>.
  7. GRAIN SIZE DEPENDING ON THE THICKNESS OF THE SUB-GROUT LAYER.
  8. THE PROCESSING GUIDELINES ISSUED BY THE MANUFACTURE OF THE GROUTING COMPOUND SHALL BE OBSERVED.
  9. TRANSMISSION OF VIBRATIONS BY NEIGHBOURING UNITS HAS TO BE PREVENTED BY AN APPROPRIATE FOUNDATION DESIGN.
  10. THE FIRST NATURAL FREQUENCY OF THE FOUNDATION AFTER ERECTION OF THE PUMPS MUST DIFFER BY AT LEAST 30% FROM THE ROTOR FREQUENCY OF THE PUMP.
  11. FIRST NATURAL FREQUENCY OF FOUNDATION TO BE  $> 2 \text{ Hz}$ .
  12. COMPLY WITH THE INSTALLATION INSTRUCTION FOR THE PUMP.
  13. CONNECT THE DISCHARGE PIPE OR EXPANSION JOINT WITHOUT TRANSMITTING ANY STRESSES OF STRAINS.
  14. THE FOUNDATION SHALL BE DESIGNED TO RESIST THE ERECTION LOADS OF EACH PUMP ACCORDING TO THE KSB DIMENSIONS INDICATED COMPLIANCE WITH THE MINIMUM IMPRESSION DEPTH EVEN IN CASE OF MINIMUM WATER LEVEL.
  15. THE OPERATING LIMITS Q-MIN, Q-MAX AND MP-SH HAVE TO BE COMPLIED WITH THE FOUNDATION LOAD.
  16. THE FOUNDATION LOAD IS CONSTITUTED OF TOTAL OF INDIVIDUAL LOADS INDICATED BELOW.
  17. PERMISSIBLE DISCHARGE NOZZLE FORCES AND MOMENTS.

NOZZLE SCHEDULE & FOUNDATION LOADING DATA

NOZZLE	NO. OF PUMPS	FLANGE STD.	PERMISSIBLE FORCES IN				PERIOD IN	
			F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>z</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
DISCHARGE	1	ASME B16.1 CL. 3000	4480	4480	4480	1480	1000	1000
WATER	1		-	-	-	-	-	-
WATER	1		-	-	-	-	-	-

THE INDICATED FORCES AND MOMENTS ARE FOR SMALL TUBES IN THE TOTAL OF THE FORCES AND MOMENTS GENERATED, E.G. RESULTING FROM PRESSURE AND TEMPERATURE INDUCED EXPANSIONS OF THE PIPING COMPONENTS AS WELL AS THE FORCE DUE TO WEIGHT. THE AXIAL FORCE F<sub>x</sub> AND THE REACTIVE FORCE F<sub>y</sub> MUST NOT EXCEED THE MAXIMUM PERMISSIBLE FORCES (F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>).

THIS HAS TO BE ENGAGED BY THE PLANT ENGINEERING CONSULTANT/ASBP'S CONTRACTUAL PARTNER.

ANY FORCES AND MOMENTS EXCEEDING THE LIMIT VALUES SHALL BE ASSURED BY APPROPRIATE MEASURES ON THE DISCHARGE PIPE.

THE COUPLING LENGTH IS ABOUT 655 MM (NOT INCLUDING THE DRIVE COUPLER LENGTH).

16. COUPLING GUARDS ARE NOT SHOWN IN THE DRAWING.

17. COUPLING GUARDS ARE NOT SHOWN IN THE DRAWING.

18. COG INDICATED IN THIS DRAWING IS FOR PUMP & MOTOR.

**COG DIMENSION**

EQUIPMENT	X	Y	Z
PUMP	-811	1250	0
MOTOR	7086	1250	110

COG REFERENCE DATUM CAN BE SEEN IN THE DRAWING.

**LEGEND:**

- A-KSB SCOPE OF SUPPLY
- B-CUSTOMER
- CENTER OF GRAVITY
- TA = REQUIRED TIGHTENING TORQUE (NM)

**STAT. LOADS (WEIGHT)**

WEIGHT OF PUMP	WEIGHT OF MOTOR	WEIGHT OF WATER COLUMN	WEIGHT OF PUMP GRATING	WEIGHT OF MOTOR GRATING	WEIGHT OF PUMP FLANGE	WEIGHT OF MOTOR FLANGE	WEIGHT OF PUMP BASE	WEIGHT OF MOTOR BASE	WEIGHT OF PUMP FLANGE	WEIGHT OF MOTOR FLANGE	WEIGHT OF PUMP BASE	WEIGHT OF MOTOR BASE
1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg	1700kg

**OPERATING DATA**

ITEM	VALUE	UNIT
1. PUMP	1700	kg
2. MOTOR	1700	kg
3. WATER COLUMN	1700	kg
4. PUMP GRATING	1700	kg
5. MOTOR GRATING	1700	kg
6. PUMP FLANGE	1700	kg
7. MOTOR FLANGE	1700	kg
8. PUMP BASE	1700	kg
9. MOTOR BASE	1700	kg

**OPERATING DATA**

ITEM	VALUE	UNIT
1. PUMP	1700	kg
2. MOTOR	1700	kg
3. WATER COLUMN	1700	kg
4. PUMP GRATING	1700	kg
5. MOTOR GRATING	1700	kg
6. PUMP FLANGE	1700	kg
7. MOTOR FLANGE	1700	kg
8. PUMP BASE	1700	kg
9. MOTOR BASE	1700	kg

**OPERATING DATA**

ITEM	VALUE	UNIT
1. PUMP	1700	kg
2. MOTOR	1700	kg
3. WATER COLUMN	1700	kg
4. PUMP GRATING	1700	kg
5. MOTOR GRATING	1700	kg
6. PUMP FLANGE	1700	kg
7. MOTOR FLANGE	1700	kg
8. PUMP BASE	1700	kg
9. MOTOR BASE	1700	kg

**LAMPIRAN B**  
**DATA KONDISI OPERASI COOLING WATER**  
**INTAKE PLTGU GRATI**



## Grati Add On Block 2 Project With Minimum Net Dependable Capacity of 150MW

Page 3 of 3

CLIENT : PT. INDONESIA POWER  
DOCUMENT : CIRCULATING COOLING WATER PUMP PROCESS DATASHEET  
LOCATION : GRATI, PASURUAN  
DOC NO. : GRT-YT01-P0PAC-115136

1	Item No.	P0GAF10AP001/002
2	Service	Circulating Cooling Water Pump
3	Pump Type	Centrifugal Pump
4	Rotor Arrangement Type	Vertical
5	No Required	Continuous: 2 Stand By: 0 Total : 2
6	Driver Type for Operation	Electric Motor
7	Driver Type for Spare	Electric Motor
8	Installation	Outdoor
9	Area Classification	Non-Hazardous
10	Operation Case	Continuous:
11	Liquid Name	Sea Water
12	Liquid Type	Non Hazardous
13	Pumping Temperature (Suction / Discharge)	°C 30 / 30
14	Specific Gravity (Suction / Discharge) @PT	- 1.024 / 1.024
15	Viscosity (Suction / Discharge) @PT	cP 0.870 / 0.870
16	Vapor Pressure @PT	kg/cm <sup>2</sup> .a 0.058
17	Capacity (Normal / Rated)	m <sup>3</sup> /hr 25000.0 / 25000.0
18	Suction Pressure (Normal / Maximum)	kg/cm <sup>2</sup> .g 0.46 / 0.48
19	Discharge Pressure at Pump Bowl	kg/cm <sup>2</sup> .g 2.07
20	Differential Pressure	kg/cm <sup>2</sup> 1.62
21	Differential Head @ Disch. Sp. Gr.	m 16
22	NPSH Available	m 14.27
23	Hydraulic Horse Power	kW 1121.91 (Assumed Efficiency : 100 %)
24	Seal Type / Seal Code	Gland Packing
25	Note:	
26		
27		
28		

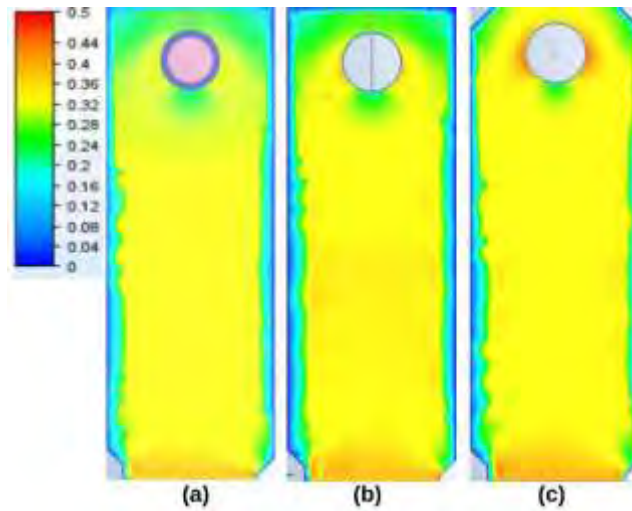
## Page 3 of 3

CLIENT	: PT. INDONESIA POWER
DOCUMENT	: SEA WATER INTAKE BASIN PROCESS DATASHEET
LOCATION	: GRATI, PASURUAN
DOC. NO.	: GRT-YT01-P0PAC-115137

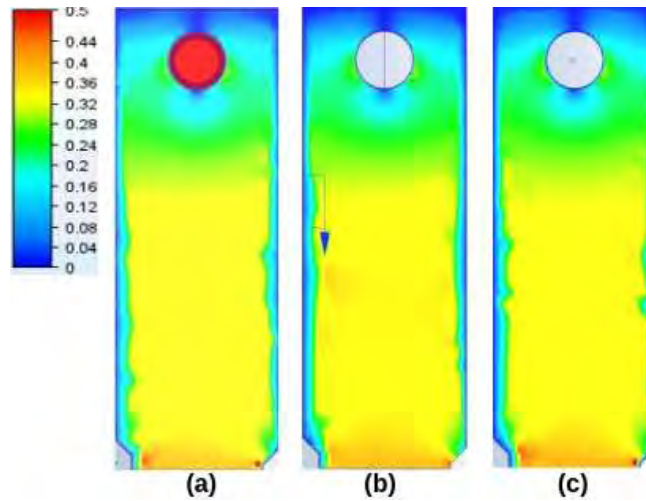
[illegible]

**LAMPIRAN C**  
**TAMPILAN VISUAL HASIL SIMULASI**  
**SKENARIO KEDALAMAN AIR**  
**4.67 METER (LLWL)**

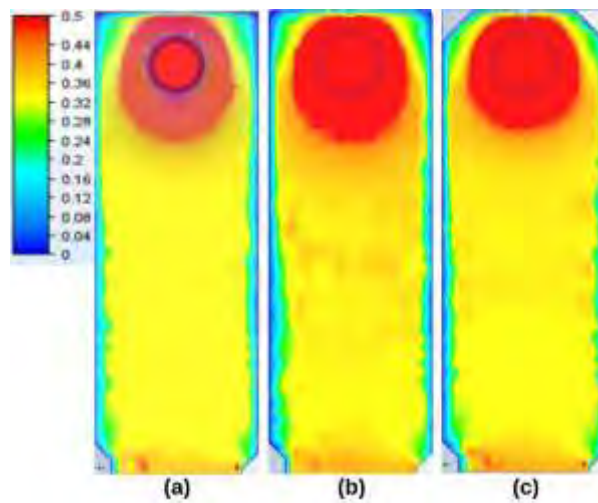




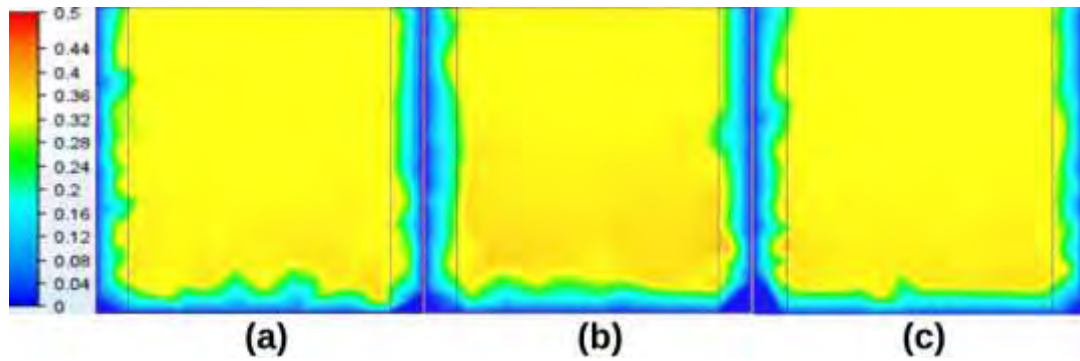
Distribusi kecepatan pada 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



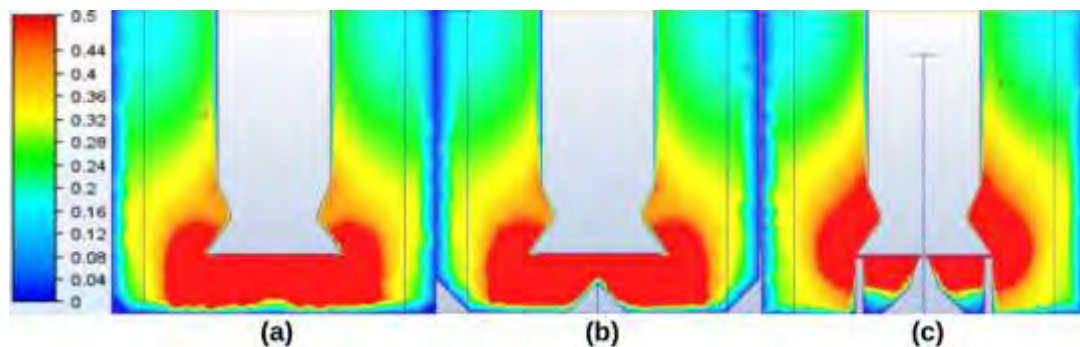
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



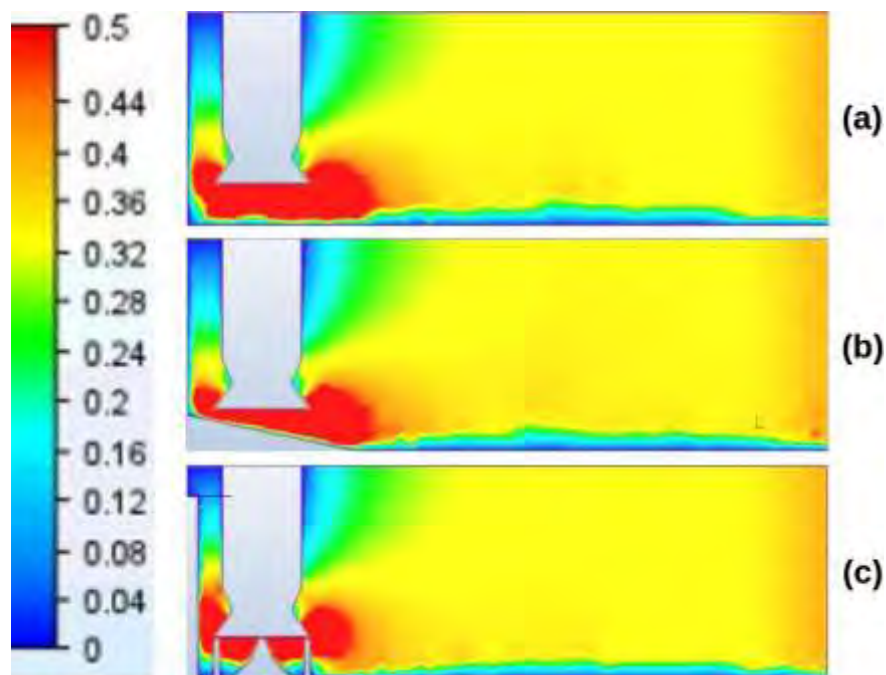
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



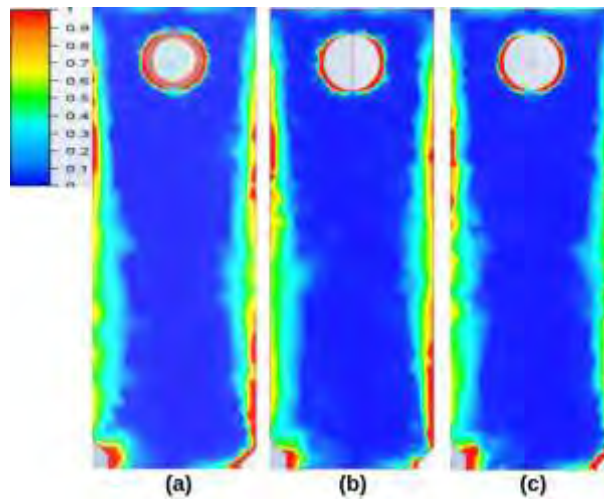
Distribusi kecepatan tampak depan pada tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



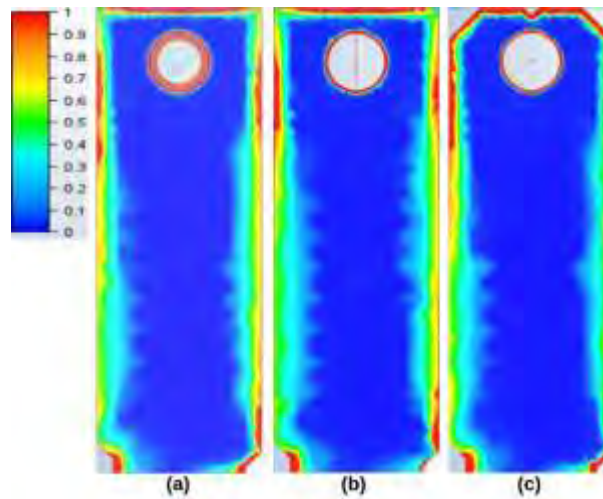
Distribusi kecepatan tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



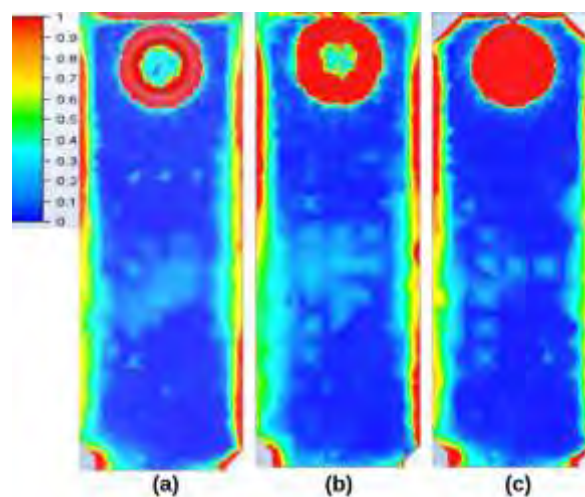
Distribusi kecepatan pada kanal tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2

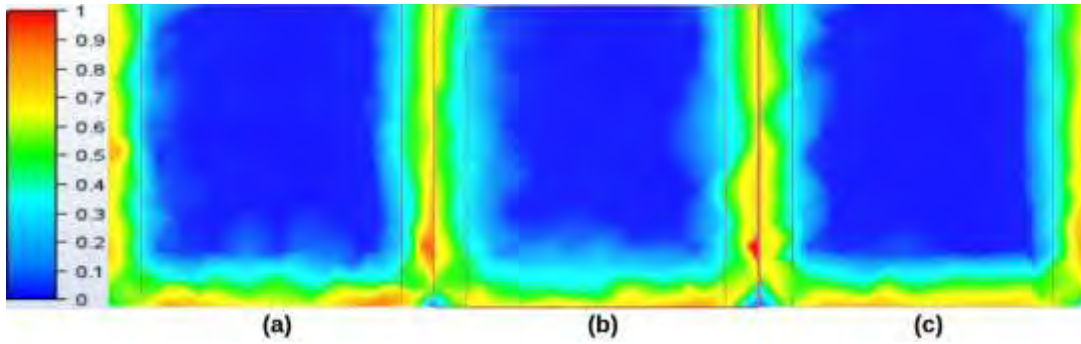


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2

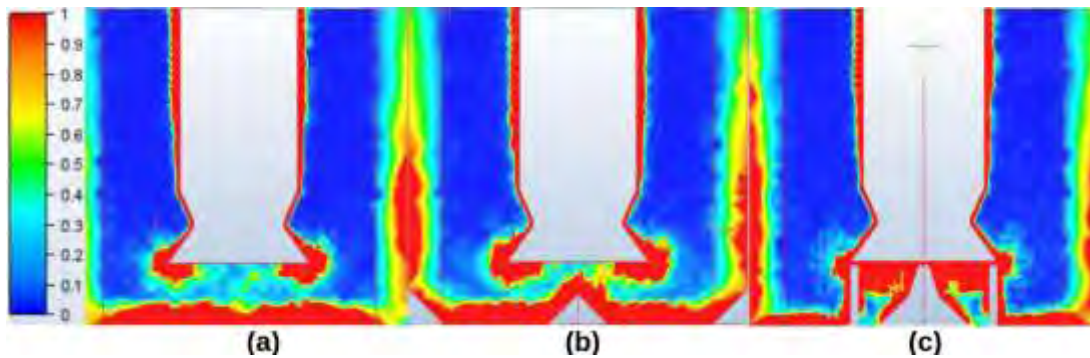


Distribusi kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan vortisitas kanal *intake* tampak atas pada anti vorteks tipe 2

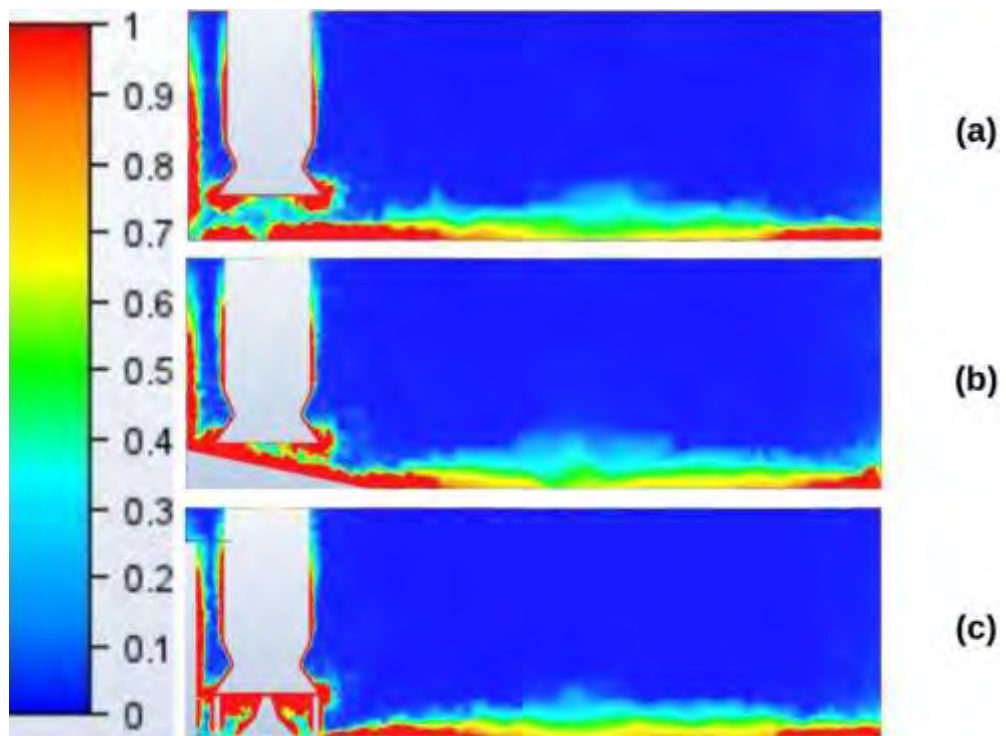




Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

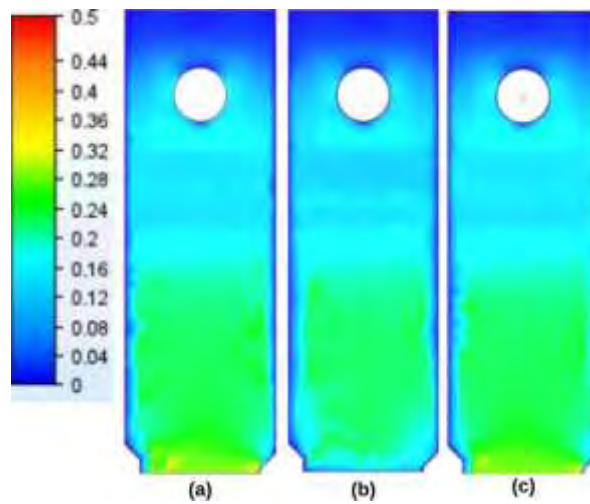


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

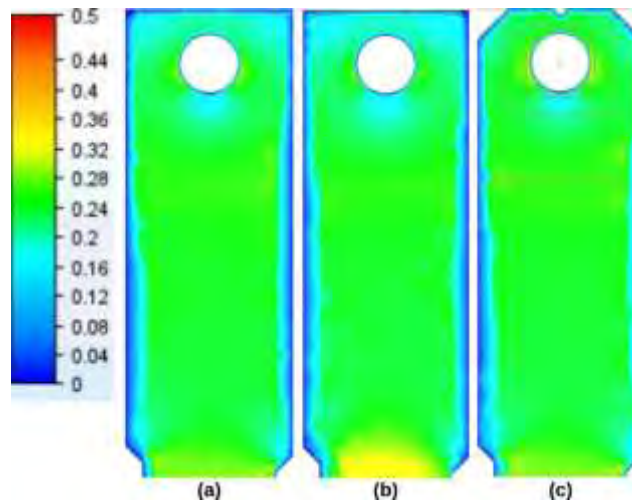


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

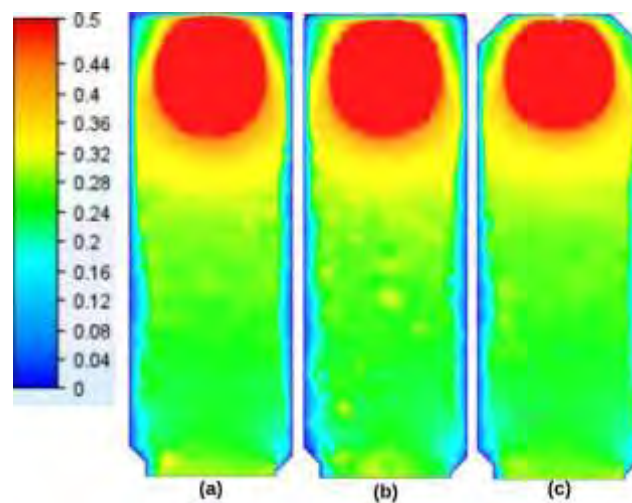
**LAMPIRAN D**  
**TAMPILAN VISUAL HASIL SIMULASI**  
**SKENARIO KEDALAMAN AIR**  
**6.67 METER (MSL)**



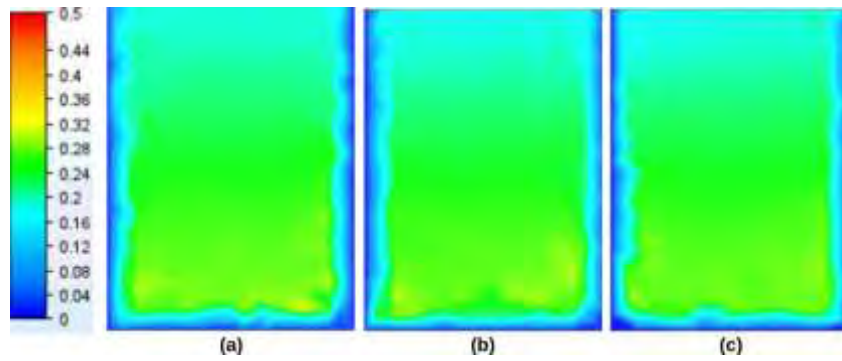
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



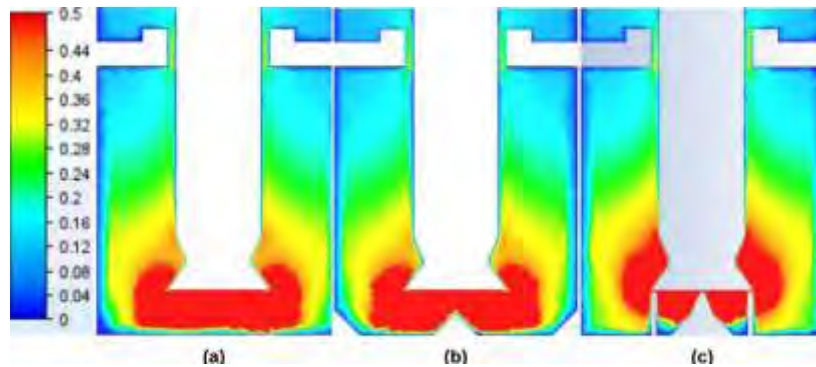
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



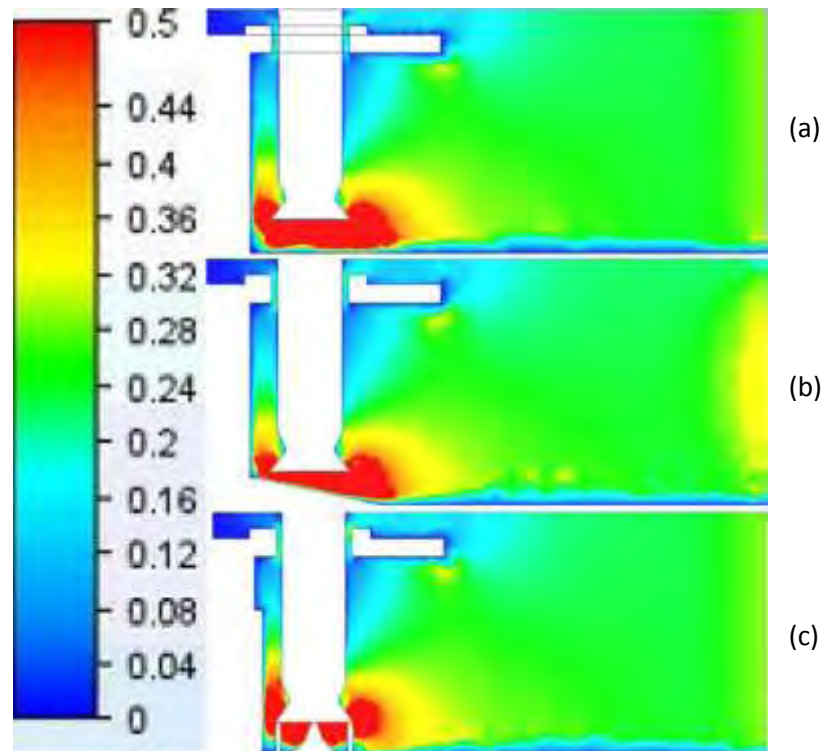
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



Distribusi kecepatan kanal *intake* tampak depan pada tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2

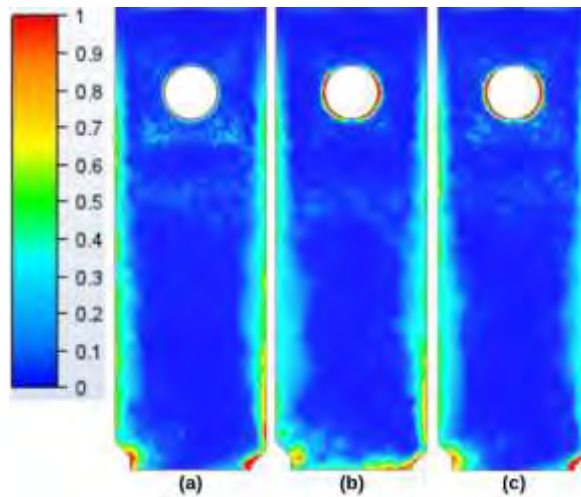


Distribusi kecepatan kanal *intake* tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2

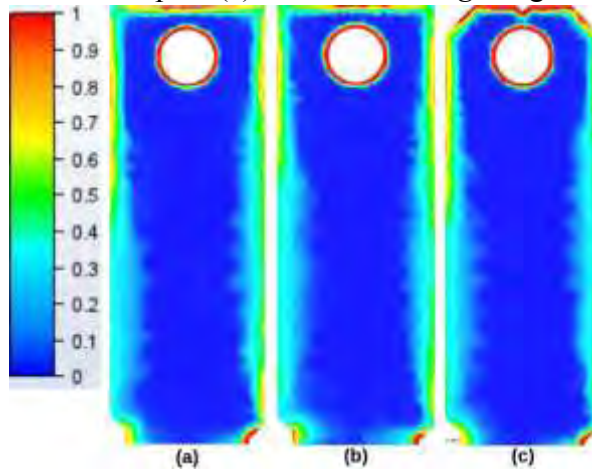


Distribusi kecepatan kanal *intake* tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2

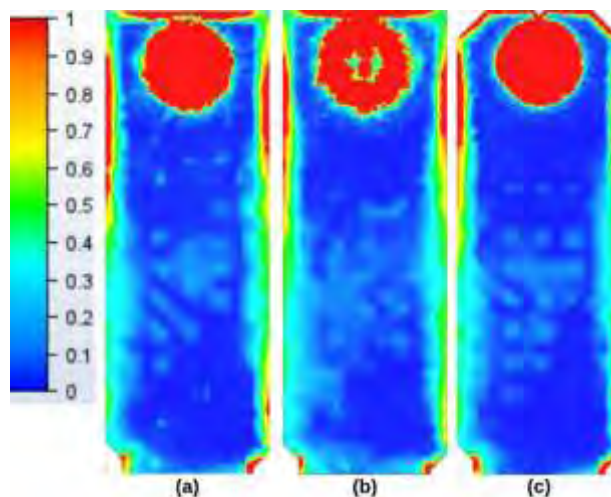




Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

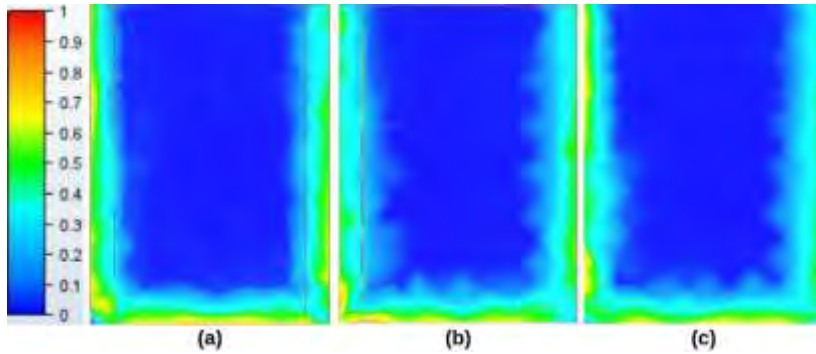


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

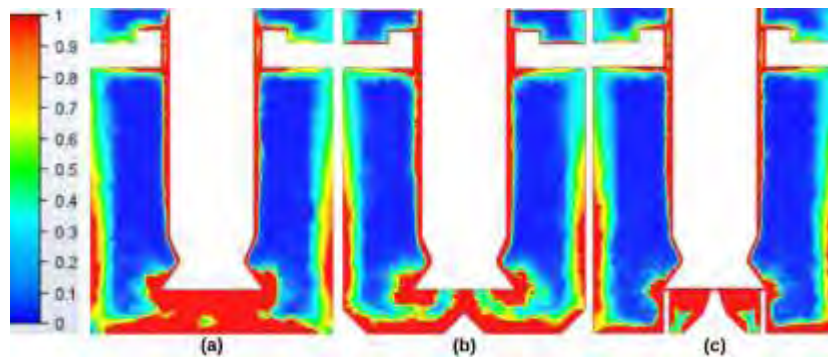


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

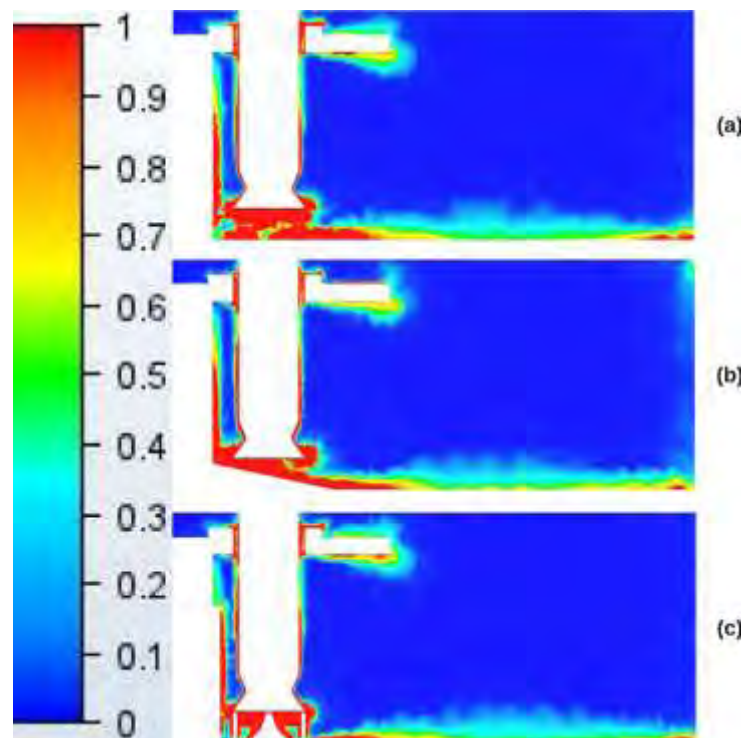




Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



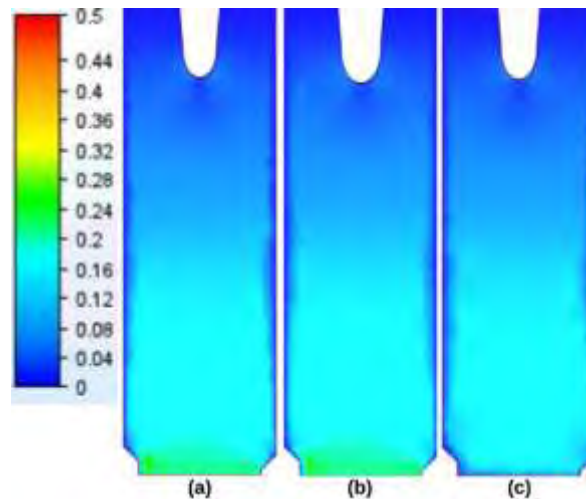
Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



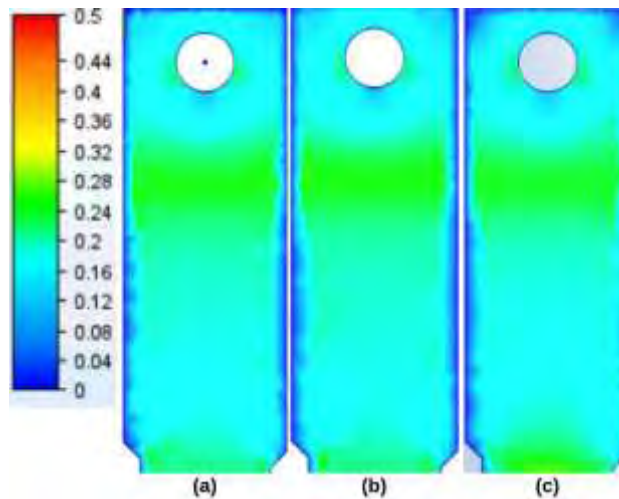
Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



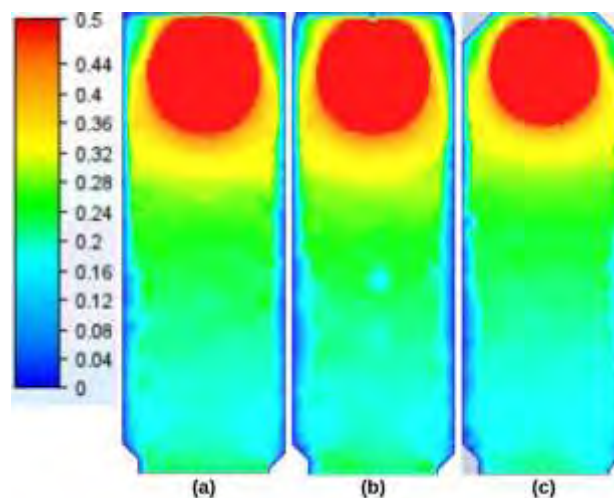
**LAMPIRAN E**  
**TAMPILAN VISUAL HASIL SIMULASI**  
**SKENARIO KEDALAMAN AIR**  
**8.67 METER (HHWL)**



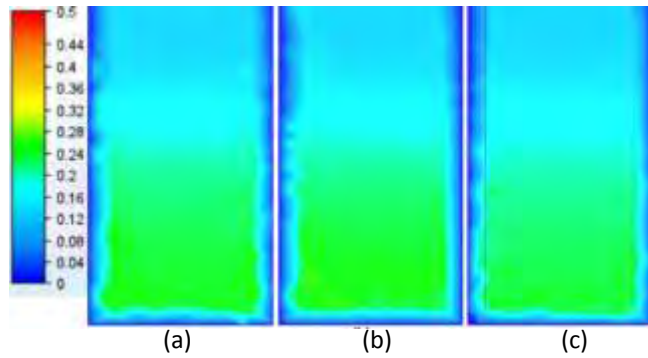
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



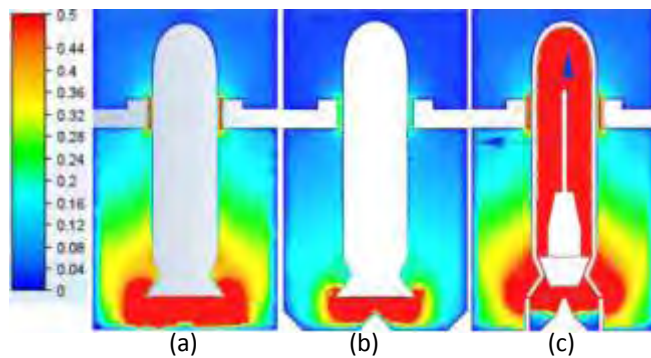
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



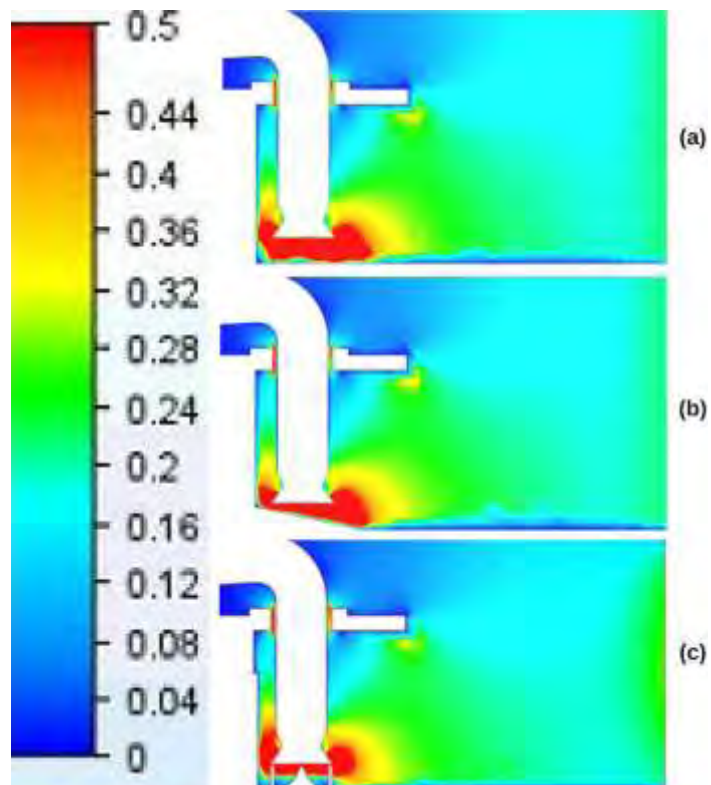
Distribusi kecepatan tampak atas pada kedalaman 2 cm di bawah *inlet bell* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



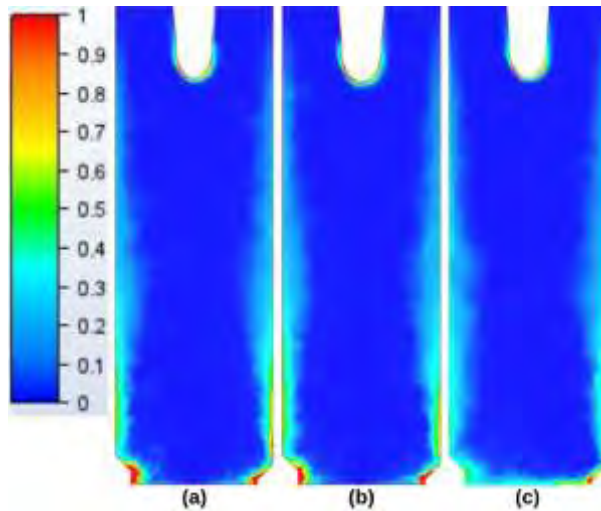
Distribusi kecepatan tampak depan pada kedalaman tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



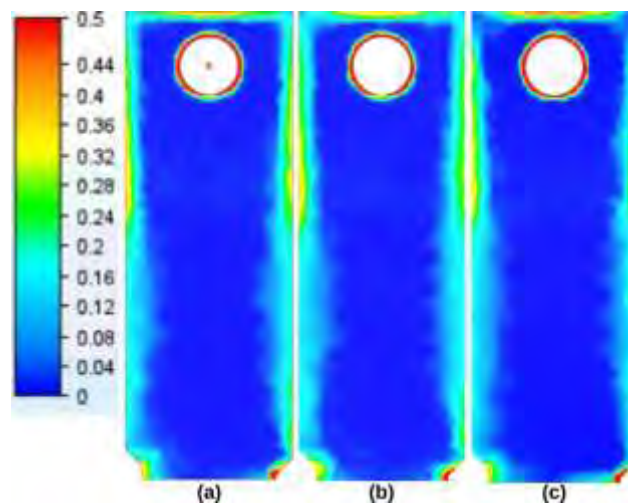
Distribusi kecepatan tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



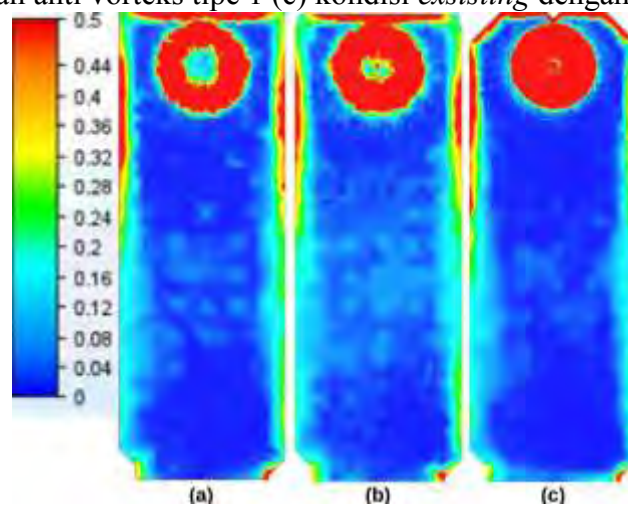
Distribusi kecepatan tampak samping pada kanal *intake* (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2



Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

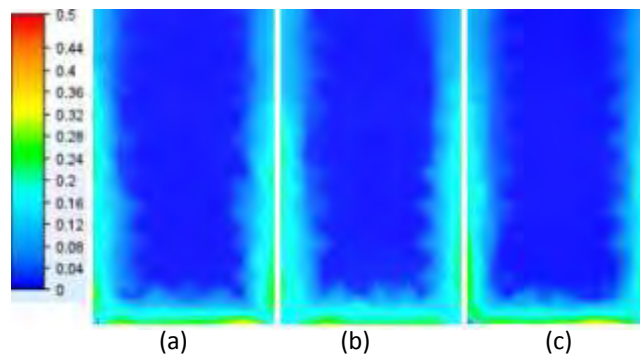


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak atas pada kedalaman 0.5 d (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

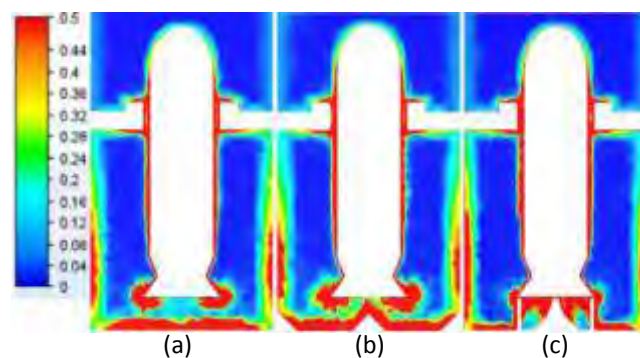


Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *exsisting* dengan anti vorteks tipe 2

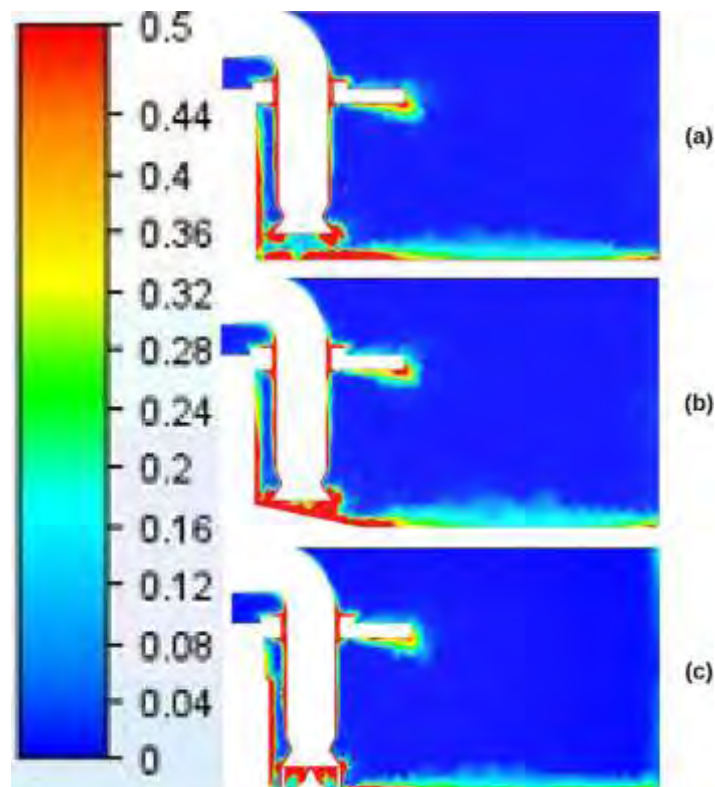




Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada tengah kanal (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak depan pada posisi pompa (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2



Distribusi vortisitas kanal *intake* tampak samping (a) tanpa anti vorteks (b) menggunakan anti vorteks tipe 1 (c) kondisi *existing* dengan anti vorteks tipe 2





## **BIODATA PENULIS**

## BIODATA PENULIS



Febrian Tegar Wicaksana lahir pada tanggal 20 Februari 1995 di kota Surakarta, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dengan menempuh jenjang pendidikan dasar di SDN 15 Surakarta pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan jenjang pendidikan menengah di SMPN 1 Surakarta pada tahun 2007-2010 dan SMAN 4 Surakarta pada tahun 2010-2013. Jenjang pendidikan tinggi penulis tempuh di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP. 04311340000024. Di masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi. Penulis sempat menjadi staff di JMMI ITS hingga tahun ke 2 perkuliahan juga aktif di Unit Kegiatan Pramuka Gudep Surabaya 610 – Surabaya 611 ITS hingga pernah menjadi Sekertaris pada periode 2014-2015 serta Ketua UKM pada periode 2015-2016. Semasa kuliah penulis pernah ikut serta dalam tim penulisan karya ilmiah bertema kebencanaan untuk dipresentasikan di *Asia Future Conference* pada tahun 2016. Penulis juga pernah menerima beasiswa dan mengikuti pembinaan dari Karya Salemba Empat selama periode 2014-2016. Dalam mengikuti kegiatan akademik penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di BMKG Stasiun Maritim Perak 2 Surabaya pada tahun 2017 serta Divisi Harkan PT. PAL Indonesia (Persero) pada tahun 2018. Dalam rangka menyelesaikan studi kesarjanaan penulis tertarik mengambil bidang rekayasa pantai sehingga dalam Tugas Akhir ini mengambil topik analisa numerik pola aliran pada *cooling water intake* dengan menggunakan Software Autodesk CFD.

Kontak penulis :

Email : tfebrianw@gmail.com

Telepon : 081249304125

Facebook : Febrian Gpa